

VNIVERSITAT DE VALÈNCIA



Facultad de Psicología

**Programa de Doctorado en Promoción de la Autonomía y Atención Sociosanitaria
a la Dependencia**

**Efectos de la rehabilitación de marcha con tareas duales en
pacientes con enfermedad de Parkinson:
Ensayo controlado aleatorizado**

TESIS DOCTORAL

PRESENTADA POR:

Dña. Constanza San Martín Valenzuela

DIRIGIDA POR:

Dra. Dña. María Pilar Serra Añó

Dr. D. José Manuel Tomás Miguel

Valencia 2018

Dra. Dña. María Pilar Serra Añó, Profesora Titular de la Universitat de València, adscrito al Departamento de Fisioterapia.

Dr. D. José Manuel Tomás Miguel, Profesor Catedrático de la Universitat de València, adscrito al Departamento de Metodología de las Ciencias del Comportamiento.

CERTIFICAN:

Que el presente trabajo, titulado “Efectos de la rehabilitación de marcha con tareas duales en pacientes con enfermedad de Parkinson: ensayo controlado aleatorizado”, ha sido realizado bajo su dirección en el Departamento de Metodología de las Ciencias del Comportamiento de la Facultad de Psicología de la Universitat de València, por Dña. Constanza San Martín Valenzuela, para optar al grado de Doctora. Habiéndose concluido, y reuniendo a su juicio las condiciones de originalidad y rigor científico necesarias, autorizan su presentación a fin de que pueda ser defendido ante el tribunal correspondiente.

Y para que así conste, expiden y firman la presente certificación en Valencia, a 24 de septiembre de 2018.

Fdo. M-P Serra Añó

Fdo. J-M Tomás Miguel

*A todas las personas con enfermedad de Parkinson
que participaron en este proyecto
y a quienes pueda ayudar esta investigación*

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento:

A mis directores de tesis, la Dra. María Pilar Serra Añó y el Dr. José Manuel Miguel Tomás por su asesoramiento y guía a lo largo de este trabajo, por estar disponibles a cualquier hora del día y en cualquier momento del año, por su seriedad y compromiso con el estudio y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia académica e investigadora.

A Amparo Oliver, directora del programa de Doctorado en el que presento esta tesis doctoral, por su apoyo y amistad desde que comencé mis estudios de postgrado.

A todas las personas con enfermedad de Parkinson que participaron en la investigación, comprometiéndose con absoluta responsabilidad. Gracias por hacer de este trabajo un proyecto propio y por vuestra entrega en cada sesión de rehabilitación. Sin duda, fueron los momentos que más disfruté de esta investigación. También me gustaría agradecer a los familiares y/o cuidadores que acompañaron a los participantes en cada instancia del proyecto, su ayuda fue fundamental para el desarrollo del mismo.

A la Asociación Parkinson Valencia, especialmente a Bárbara Gil, gerente, a Manuel Villanueva, coordinador, y a Viviana Aranda, fisioterapeuta del centro, por su colaboración en el estudio y por su compromiso con la investigación en rehabilitación física de la enfermedad de Parkinson. Admiro vuestra labor profundamente y me identifico con vuestra vocación de servicio hacia las personas con esta enfermedad.

Al Hospital Universitari i Politècnic La Fe, especialmente al Dr. Juan Burguera, ex neurólogo del Servicio de Neurología y jefe de la Unidad de trastornos del movimiento. Gracias por sumarse a nuestro trabajo y permitir que expandiéramos el estudio a más participantes.

Al Centro Municipal de Actividades para Personas Mayores Benimaclet de la ciudad de Valencia, por permitirme invitar a sus integrantes a participar en este proyecto como sujetos controles, solamente con la motivación de ayudar.

A la Unidad de Evaluación en Autonomía Personal, Dependencia y Trastornos Mentales Graves (TMAP) de la Facultat de Medicina i Odontologia de la Universitat de València, dirigida por el Dr. Rafael Tabarés Seisdedos, por su colaboración y por la confianza que me dieron al convertirme en parte de su equipo de trabajo.

Al Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV), especialmente al equipo de Valoración Biomecánica, quienes apoyaron mi formación como becaria en esta área, lo que me ha permitido desarrollar esta investigación con suficiente autonomía.

A los fisioterapeutas que participaron en las sesiones de valoración y rehabilitación, Lirios y Daniel, gracias por acompañarme en este proyecto.

Por último, quiero agradecer a mi esposo e hija por permitirme desarrollar esta investigación a expensas del tiempo no compartido en familia. Sin vuestro apoyo práctico y emocional no podría emprender todos mis proyectos profesionales.

RESUMEN

La rehabilitación física funcional permite a los pacientes desenvolverse en ambientes cotidianos, disminuyendo el riesgo de caer y las lesiones concomitantes en todos los escenarios posibles. Para lograr este objetivo, la rehabilitación de la marcha que incluye tareas duales es adecuada en patologías como la enfermedad de Parkinson (EP), ya que las alteraciones de la marcha parkinsoniana tienen un gran impacto en la funcionalidad y la percepción de la calidad de vida de los pacientes. Una tarea dual consiste, por ejemplo, en caminar mientras se ejecuta una tarea adicional cognitiva o motora con los brazos. El objetivo principal de este trabajo es diseñar un programa de rehabilitación de marcha con tareas duales, comprobar el efecto de este y si es superior que la fisioterapia habitual sin tareas secundarias sobre la biomecánica de la marcha de personas con EP. Para ello, se ha diseñado el presente ensayo clínico controlado aleatorizado constituido por una muestra de 83 participantes en total. Veintitrés participantes con EP conformaron el grupo experimental (GE) y realizaron el programa de marcha con tareas duales. Diecisiete personas constituyeron el grupo de terapia control (GC) y 43 adultos mayores sanos fueron reclutados para comparar el desempeño de ambos grupos de pacientes con el patrón de marcha de personas sin patología. Además de evaluar el efecto de las intervenciones realizadas y las comparaciones entre grupos, se evaluó el efecto de caminar realizando diferentes tareas secundarias (visual, verbal, auditiva y motora) y las diferencias entre hemicuerpos de los participantes con EP.

El efecto de la intervención experimental planteada en esta investigación, así como el mantenimiento del mismo tras un plazo medio (ocho semanas), fue positivo y estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en la mayoría de variables espacio-temporales y cinemáticas registradas. Esto se traduce en que las personas del GE caminaron más rápido, con mejor *longitud de paso* (bilateral) y *zancada*, con menor *tiempo de doble apoyo*, con una *cadencia* más alta y con una mayor excursión de movimiento de los miembros inferiores tras el tratamiento propuesto. Esta mejoría se observó, además, en condiciones de marcha con y sin tareas secundarias. Asimismo, los participantes del GE realizaron un mejor desempeño que los participantes del GC tras acabar ambos tratamientos, lo que perduró tras ocho semanas sin ningún tipo de rehabilitación física.

Gracias a la rehabilitación con tareas duales los participantes con EP del GE lograron un patrón de marcha similar al de personas mayores sanas ($p>0,05$) y, al mismo tiempo, lograron modificar la interferencia que las tareas duales provocaban en la marcha antes de cumplir con el programa diseñado en este estudio. Esto dio lugar a que la tarea motora secundaria no causara un deterioro en la marcha como si lo hacía antes de comenzar la intervención. Todos estos cambios en la biomecánica de marcha significaron un aumento de la calidad de la vida percibido por los pacientes con EP del GE.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo I. INTRODUCCIÓN.....	25
I.1 La enfermedad de Parkinson.....	27
I.1.1 Epidemiología y contexto sanitario.....	27
I.1.2 Neurofisiopatología y expresión clínica de la Enfermedad de Parkinson	29
I.2. Marcha humana: biomecánica y control motor.....	35
I.2.1 Aspectos espacio-temporales de la marcha.....	37
I.2.2 Aspectos cinemáticos de la marcha	40
I.2.3 La marcha parkinsoniana como tarea dual.....	45
I.2.4 Control de la marcha en tareas duales y simples	48
I.3 Rehabilitación de la marcha parkinsoniana con tareas duales.....	53
Capítulo II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	87
II.1 Hipótesis de la investigación.....	89
II.2 Objetivo general.....	89
II.3 Objetivos específicos	89
Capítulo III. MATERIAL Y MÉTODO.....	91
III.1 Diseño de la investigación	93
III.2 Procedimiento general.....	94
III.3 Participantes.....	97
III.4 Evaluación de participantes.....	99
III.4.1 Material de evaluación	99
III.4.2 Procedimientos de valoración.....	113
III.5 Tratamiento de datos y descripción de variables.....	129
III.5.1 Tratamiento de los registros de marcha.....	129
III.5.2 Descripción de las variables analizadas.....	130
III.6 Programa de rehabilitación experimental.....	134
III.6.1 Material del programa de rehabilitación.....	135

III.6.2 Procedimientos de la rehabilitación.....	136
III.7 Análisis estadístico	148
Capítulo IV. RESULTADOS.....	155
IV.1 Descripción de la muestra.....	157
IV.2 Análisis de la marcha entre personas sanas y con enfermedad de Parkinson previo a rehabilitación física.....	157
IV.2.1 Análisis multivariante de la varianza.....	158
IV.2.2 Análisis Univariado	158
IV.3 Efecto de la rehabilitación física sobre el patrón de marcha	169
IV.3.1 Análisis multivariante de varianza.....	169
IV.3.2 Análisis Univariado	170
IV.4 Efecto de la rehabilitación física sobre los test y escalas clínicas	196
IV.5 Análisis de la marcha entre personas sanas y con enfermedad de Parkinson tras realizar rehabilitación física.....	202
IV.5.1 Análisis Multivariante de la Varianza.....	203
IV.3.2 Análisis Univariado	203
IV.6 Análisis de la marcha entre personas sanas y con enfermedad de Parkinson tras ocho semanas de finalizada la rehabilitación física.....	209
IV.6.1 Análisis Multivariante de Varianza	210
IV.6.2 Análisis Univariado	210
Capítulo V. DISCUSIÓN.....	217
V.1 Consideraciones metodológicas.....	219
V.2 Efecto del entrenamiento en la marcha como tarea simple.....	225
V.3 Efecto del entrenamiento en la marcha como tarea dual.....	231
V.4 Interferencia de las tareas secundarias en la marcha	237
V.5 Efecto del entrenamiento sobre el comportamiento entre hemicuerpos.....	243
V.6 Efecto del entrenamiento en variables clínicas.....	245
V.7 Diferencias de la marcha parkinsoniana y personas sanas.....	247

V.8 Aplicación clínica de un programa de rehabilitación con tareas duales	249
Capítulo VI. CONCLUSIONES	253
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	259
ANEXOS	275
Anexo I: Aprobación comité ético Universitat de València	277
Anexo II: Aprobación comité ético de Investigación Biomédica del Hospital Universitario y Politécnico La Fe.....	278
Anexo III: Hoja de información al paciente	280
Anexo IV: Consentimiento informado	284
Anexo V: Formulario de registro de antecedentes personas y médicos	286
Anexo VI: Comparaciones por pares de medidas de cada factor analizado en los análisis estadísticos del estudio.....	288

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1: Ganglios basales y estructuras adyacentes.....	30
Figura I.2: Anatomía global de los circuitos cortico - ganglios basales - tálamo.....	31
Figura I.3: Dimensiones espacio-temporales del ciclo de marcha.....	36
Figura I.4: Distancias y ángulos descritos en el ciclo de marcha.....	38
Figura I.5: Movimiento normal de la pelvis, articulación de cadera, rodilla y tobillo.....	41
Figura I.6: Proceso de selección de los artículos científicos incluidos en la revisión sobre rehabilitación de marcha con tareas duales.....	57
Figura III.1: Diseño experimental de la investigación.....	93
Figura III.2: Procedimiento general de evaluación.....	97
Figura III.3: Sistema de fotogrametría.....	110
Figura III.4: Materiales utilizados para el procedimiento de instrumentación de los participantes.....	112
Figura III.5: Plataforma dinamométrica.....	113
Figura III.6: Desarrollo de prueba.....	117
Figura III.7: Modelo biomecánico utilizado en la valoración de marcha.....	120
Figura III.8: Modelo biomecánico utilizado en la evaluación de marcha digitalizado.....	122
Figura III.9: Registro de escena de calibración del modelo biomecánico.....	123
Figura III.10: Pasillo de marcha recorrido en cada condición valorada.....	125
Figura III.11: Registro de una medida de marcha en la condición visual.....	126
Figura III.12: Registro de una medida de marcha en la condición motora.....	128
Figura III.13: Gráficas de movimiento en el plano sagital de las articulaciones evaluadas durante el ciclo de marcha.....	133
Figura III.14: Características de los programas de rehabilitación experimental y control.....	135
Figura III.15: Esquema general de trabajo en la fase central de marcha en una sesión de.....	139
Figura III.16: Entrenamiento dual de marcha.....	147

Figura III.17: Análisis estadísticos utilizados para el estudio de la comparación entre personas con EP y sanos, según las variables obtenidas	149
Figura III.18: Análisis estadísticos utilizados para el estudio del efecto de la rehabilitación física en la biomecánica de la marcha y en los test y escalas clínicas.....	150
Figura IV.1: Diferencias de la velocidad entre grupos y entre condiciones de marcha ..	172
Figura IV.2: Diferencias de longitud de zancada entre grupos y entre condiciones de marcha	174
Figura IV.3: Diferencias de longitud de zancada entre grupos y entre condiciones de marcha	176
Figura IV.4: Diferencias de cadencia entre grupos y entre condiciones de marcha.....	178
Figura IV.5: Diferencias del tiempo de apoyo bipodal entre grupos y entre condiciones de marcha.....	180
Figura IV.6: Longitud de paso para ambos hemicuerpos medidos en las distintas condiciones y tiempos del estudio.....	183
Figura IV.7: Diferencias de la longitud de paso entre grupos y entre condiciones de marcha	184
Figura IV.8: Diferencias del rango articular de tobillo entre grupos y condiciones de marcha	188
Figura IV.9: Diferencias para la flexión máxima de rodilla en fase de oscilación entre grupos y condiciones de marcha	191
Figura IV.10: Diferencias para la extensión máxima de cadera en fase de apoyo entre y entre condiciones de marcha	195
Figura IV.11: Diferencias para la flexión máxima de cadera en fase de apoyo entre y entre condiciones de marcha.....	196

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1: Escala de Hoenh y Yarh	34
Tabla I.2: Valores de referencia de las principales variables espacio-temporales	39
Tabla I.3: Arcos de movimiento normal durante el ciclo de marcha en plano sagital	42
Tabla I.4: Resultados escala PEDro sobre calidad metodológica de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson	59
Tabla I.5: Diseños y características de los participantes de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson	67
Tabla I.6: Metodología de valoración de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson	68
Tabla I.7: Características generales de la intervención de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson	75
Tabla I.8: Especificaciones de los ejercicios de marcha y tareas secundarias de las intervenciones de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson.....	78
Tabla I.9: Efectos de las intervenciones de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson.....	84
Tabla III.1: Criterios de selección especificados para participación en estudio	98
Tabla III.2: Materiales utilizados en el programa de rehabilitación experimental.....	135
Tabla III.3: Resumen de los ejercicios abordados en la fase de calentamiento.....	137
Tabla III.4: Descripción de los ejercicios de marcha utilizados en el programa de rehabilitación experimental	141
Tabla III.5: Descripción de las tareas cognitivas y motoras entrenadas durante el programa de rehabilitación	145
Tabla III.6: Resumen de los estiramientos realizados en la fase de vuelta a la calma.....	148
Tabla IV.1: Características clínicas de los participantes.....	157
Tabla IV.2: Velocidad registrada en evaluación prerrehabilitación del total de participantes	159
Tabla IV.3: Longitud y duración de zancada registrada en evaluación prerrehabilitación del total de participantes	160

Tabla IV.4: Cadencia registrada en evaluación prerrehabilitación del total de participantes	161
Tabla IV.5: Tiempo de doble apoyo registrado en evaluación prerrehabilitación del total de participantes	163
Tabla IV.6: Longitud de paso registrado en evaluación prerrehabilitación del total de participantes	164
Tabla IV.7: Movimiento de tobillo registrado en evaluación prerrehabilitación del total de participantes	166
Tabla IV.8: Flexión máxima de rodilla registrada en evaluación prerrehabilitación del total de participantes.....	167
Tabla IV.9: Extensión máxima en fase de apoyo y flexión máxima en fase de oscilación de la articulación de cadera registrado en evaluación prerrehabilitación del total de participantes	169
Tabla IV.10: Velocidad de marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación.....	171
Tabla IV. 11: Longitud de zancada durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación	173
Tabla IV.12: Duración de zancada durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación	175
Tabla IV.13: Cadencia durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación.....	177
Tabla IV. 14: Tiempo de apoyo bipodal durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación.....	179
Tabla IV.15: Longitud de paso en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación.....	182
Tabla IV.16: Movimiento del tobillo durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación	186
Tabla IV.17: Flexión de rodilla durante la fase de oscilación del ciclo de marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación	190
Tabla IV.18: Movimiento de la cadera en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación	193
Tabla IV.19: Puntuaciones escala FAB antes y después del periodo de rehabilitación...	198

Tabla IV.20: Tiempo de ejecución del test TMT _{A-B} medido antes y después del periodo de rehabilitación.....	198
Tabla IV.21: Puntuaciones escala DYPAGS medida antes y después del periodo de rehabilitación.....	199
Tabla IV.22: Puntuaciones de la escala Tinetti medida antes y después del periodo de rehabilitación.....	201
Tabla IV.23: Tiempo de ejecución del test TUG evaluado antes y después del periodo de rehabilitación.....	201
Tabla IV.24: Puntuaciones de la escala PDQ-39 evaluada antes y después del periodo de rehabilitación.....	202
Tabla IV.25: Desempeño realizado por los pacientes en las variables que no se evalúa el factor hemicuerpo durante la medida postrehabilitación.....	205
Tabla IV.26: Desempeño realizado por los pacientes en las variables registradas para ambos hemicuerpos durante la medida postrehabilitación	208
Tabla IV.27: Desempeño realizado por los pacientes en las variables que no se evalúa el factor hemicuerpo durante la medida seguimiento	212
Tabla IV.28: Desempeño realizado por los pacientes en las variables registradas para ambos hemicuerpos durante la medida de seguimiento	215

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

EP	Enfermedad de Parkinson
SNc	Sustancia <i>nigra</i> , <i>pars compacta</i>
GB	Ganglios basales
H&Y	Hoehn y Yarh (escala clínica)
UPDRS	Escala unificada para la evaluación de la enfermedad de Parkinson (<i>The Unified Parkinson's Disease Rating Scale</i>)
CIF	Clasificación internacional del funcionamiento
VMC	Velocidad de marcha confortable
ROM	Rango de movimiento (<i>Range of movement</i>)
AM	Adultos mayores
CM	Ciclo de marcha
TS	Tarea simple (<i>single task</i> , <i>ST</i>)
TD	Tarea dual (<i>dual task</i> , <i>DT</i>)
CPG	Centro generador de patrones (<i>Central Pattern Generation</i>)
CLR	Región locomotora cerebelos (<i>Cerebellar Locomotor Region</i>)
MLR	Región locomotora mesencefálica (<i>Mesencephalic Locomotor Region</i>)
PPN	Núcleo pedúnculo pontino tegmental (<i>Pedunculopontine Nucleus</i>)
SLR	Región locomotora subtalámica (<i>Subthalamic Locomotor Region</i>)
GS	Grupo de sujetos sin patología (grupo sano)
GC	Grupo control
GE	Grupo experimental
MMP	Test Mini Mental Parkinson
FAB	Prueba <i>Frontal Assessment Battery</i>
TMT _A	Prueba <i>Trail Making Test</i> , subtest A
TMT _B	Prueba <i>Trail Making Test</i> , subtest B
DYPAGS	<i>Dynamic Parkinson Gait Scale</i>
FOG-Q	<i>Freezing of Gait Questionnaire</i>
PDQ-39	<i>Parkinson's Disease Questionnaire</i> , versión de 39 ítems
UPDRS	<i>Unified Parkinson's Disease Rating Scale</i>
POMA	<i>Tinetti Performance-Oriented Mobility Assessment</i>
Tinetti _{Total}	<i>Tinetti Mobility Test</i> , puntuación total
Tinetti _B	<i>Tinetti Mobility Test</i> , subtest equilibrio (<i>balance</i>)
Tinetti _G	<i>Tinetti Mobility Test</i> , subtest marcha (<i>gait</i>)
TUG	Test <i>Timed Up and Go</i>
ICC	Índice de correlación intraclase
MMSS	Miembro superior
MMII	Miembro inferior

Dº	Derecho
Iº	Izquierdo
MANOVA	Análisis multivariante de la varianza
Lzancada	Longitud de zancada
Tzancada	Tiempo de zancada
TAbipodal	Tiempo de apoyo bipodal
Lpaso	Longitud de paso
ROMtob	Rango de movimiento de tobillo
DSFtob	Dorsiflexión máxima de tobillo
FLEXrod	Flexión máxima de rodilla
EXTcad	Extensión máxima de cadera
FLEXcad	Flexión máxima de cadera
PEDro	Escala <i>Physiotherapy Evidence Database</i>

Capítulo I. INTRODUCCIÓN

I.1 La enfermedad de Parkinson

La Enfermedad de Parkinson (EP) es una enfermedad neurodegenerativa, crónica, progresiva y multisistémica, que cursa con signos motores y no motores, lo que repercute en la movilidad funcional y termina causando discapacidad y dependencia por mayor tiempo de vida (1,2). Este impacto descrito en las personas con EP, alcanza también a los cuidadores que se hacen responsables de la atención que requiere el familiar enfermo, viendo comprometida también su propia calidad de vida (3).

I.1.1 Epidemiología y contexto sanitario

La EP es la segunda enfermedad neurodegenerativa más común después del Alzheimer (4,5), afectando a más de 6,3 millones de personas en todo el mundo (6). Principalmente, la EP está relacionada con una edad avanzada (50 años y más) (4), por lo que el envejecimiento de la población podría aumentar drásticamente la prevalencia de la enfermedad. De hecho, en un estudio publicado en 2011, se estimó que para el año 2050 el número de personas con EP se verá duplicado en Europa, Estados Unidos y Canadá (7).

Con relación a los datos epidemiológicos actuales, a nivel mundial, la prevalencia de la EP es rara antes de los 60 años (0,13% - 1,6%), pero al aumentar la edad puede alcanzar un máximo de 9% entre personas de 80 a 84 años. A partir de esa edad, la prevalencia disminuye y varía de 0,87% a 3,6%. La tasa de incidencia también es baja entre las personas de 50 a 59 años, pero aumenta exponencialmente después de estas edades. La cantidad de nuevos casos difieren entre los estudios, variando desde 80,4 a 678 casos nuevos por 100.000 personas (4). La prevalencia media de la EP en España, según una revisión del año 2016 (3), es de 682,2 casos por 100.000 habitantes, lo que eleva la cifra de afectados en el país a un total de 318.000 personas, de los cuales el 70% de los enfermos son personas con más de 65 años, y un 15% del total de afectados, adultos menores de 45 años. Un dato común de la mayoría de estudios epidemiológicos es que la

EP tiene una mayor prevalencia en hombres, siendo 1,5-2 veces mayor en estos que en mujeres (5).

Aunque la EP es una enfermedad crónica, progresiva e irreversible, no es mortal en sí misma. La expectativa de vida promedio de los pacientes con EP (77 años para hombres y mujeres) suele ser la misma edad que en las personas no enfermas. Dado que la edad de aparición de la enfermedad es entorno a los 60 años, esto hace que los costes totales por paciente se eleven considerablemente respecto a enfermedades que sí afectan a la esperanza de vida. Es por esto que la detección e intervención tempranas son un factor importante en la reducción de costes, tanto para el enfermo, como a nivel social (8).

En España, el coste sanitario estimado es de 10.000 millones de euros anuales, sin incluir los costes no sanitarios. De esos diez mil millones, 116 millones corresponden a medicación, lo que representa en torno a 400€ por cada 100.000 habitantes y día. Actualmente, el fármaco más utilizado es levodopa, que representa más de un 30% del precio total de los fármacos antiparkinsonianos. En este sentido, las asociaciones de pacientes contribuyen a paliar el alto valor de algunas terapias no soportadas directamente por el sistema nacional de salud, principalmente logopedia, fisioterapia, estimulación cognitiva y terapia ocupacional. Así, el gasto total en servicios prestados por las asociaciones asciende a 34.000.000 € anuales. Por otra parte, los costes no médicos por cuidados se ven incrementados gracias al elevado nivel de dependencia que alcanzan los pacientes conforme la enfermedad avanza, junto con la relativamente normal esperanza de vida. Ejemplo de esto son los valores DALY (sumatorio de años de vida perdidos y años vividos con discapacidad), que en el caso de la EP en España son superiores a los del mundo (84 años por 100.000 habitantes) (9).

En general, los pacientes residen en sus domicilios particulares y, como se ha mencionado anteriormente, son cuidados por familiares en edad laboral. En relación a los costes por pérdida de productividad, el de los cuidadores está cifrado entre 343 y 532 millones anuales, equivalentes a 0,9% y 1,4% del gasto sanitario del Sistema Nacional de Salud. En todas estas cifras, no están contabilizados los valores informales no médicos como ayudas complementarias, servicios del hogar, cuidadores suplentes,

espacios de recreación, y cuidados psicológicos y físicos de los cuidadores. En relación a los costes por pérdida de productividad laboral en los propios pacientes, suele ser más bajo que en otras enfermedades debido a que la EP aparece alrededor de los 60 años, y estos se relacionan principalmente con la jubilación precoz (3).

Por todo lo expuesto anteriormente, la rehabilitación física no solamente es fundamental en los pacientes con EP, sino que es urgente. Esta no solamente tendría un impacto en la funcionalidad y calidad de vida de los pacientes y sus familias, sino también, en el gasto sanitario público y particular, asociado a la atención que los pacientes requerirán a lo largo de su vida.

I.1.2 Neurofisiopatología y expresión clínica de la Enfermedad de Parkinson

En esta afectación existe una degeneración de neuronas dopaminérgicas, llamadas de este modo por el neurotransmisor que secretan: dopamina. La zona del sistema nervioso central (SNC) principalmente afectada por la degeneración de las neuronas dopaminérgicas es uno de los cuatro núcleos o ganglios basales (GB): *pars compacta* de la sustancia *nigra* (SNc) (10). Los GB son un conjunto de núcleos de sustancia gris, es decir, son acumulaciones de cuerpos o somas neuronales subcorticales y están constituidos por (11) (Figura 1.1):

- 1) Cuerpo Estriado, separado por la cápsula interna en el núcleo caudado y el putamen
- 2) Globo Pálido con su porción interna y externa
- 3) Sustancia Nigra, compuesta por una parte reticulada y otra parte compacta, esta última deteriorada en la EP
- 4) Núcleo Subtalámico

Los GB están ubicados en el diencéfalo y mesencéfalo (10) (Figura 1.1), lo que les permite conectar con estructuras superiores e inferiores. En su conjunto, desempeñan una importante función en la regulación del movimiento tanto voluntario, como automático (8,11,12) a través del neurotransmisor inhibitorio GABA, producto final del

circuito de los GB. Debido al aumento o disminución de la producción de GABA, influirán directamente sobre la actividad del tálamo y, por lo tanto, sobre la corteza cerebral (10,11). Producto de la comunicación alterada en el circuito de los GB que se da en la EP, los pacientes presentan, principalmente, una deficiencia motora.

Al contrario que la mayoría de los demás componentes del sistema motor, los GB no tienen conexiones directas de entrada o de salida con la médula espinal. Estos núcleos, reciben su información primaria de la corteza cerebral y envían sus señales al tronco encefálico y, a través del tálamo, de nuevo a la corteza cerebral (11).

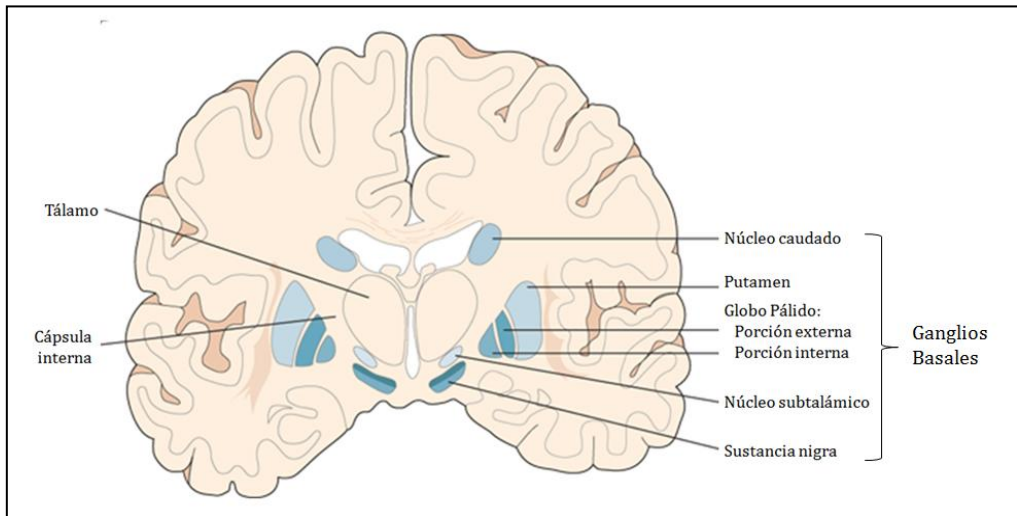


Figura I.1: Ganglios basales y estructuras adyacentes

Se muestra un corte coronal del cerebro en donde se observan los ganglios basales (en azul y descritos a la derecha) y las estructuras que les rodean (nombradas a la izquierda) (11).

Las zonas de la corteza cerebral de dónde reciben información son áreas específicas, por lo que funcionan como un grupo de circuitos anatómicamente segregados. Hasta hace poco se pensaba que los GB solamente se conectaban con la corteza motora mediante el tálamo. Sin embargo, ahora se sabe que estos tienen proyecciones a áreas no motoras de la corteza, participando en una variedad de funciones (11), lo que explicaría la asociación de los variados signos clínicos cuando existe un proceso de enfermedad de

30

estas estructuras. Se han descrito diversos circuitos: motor, límbico, oculomotor, orbitofrontal o prefrontal y cingular anterior (10), otorgándoles funciones emocionales, de control en el movimiento ocular y cognitivas, además de motoras (Figura I.2).

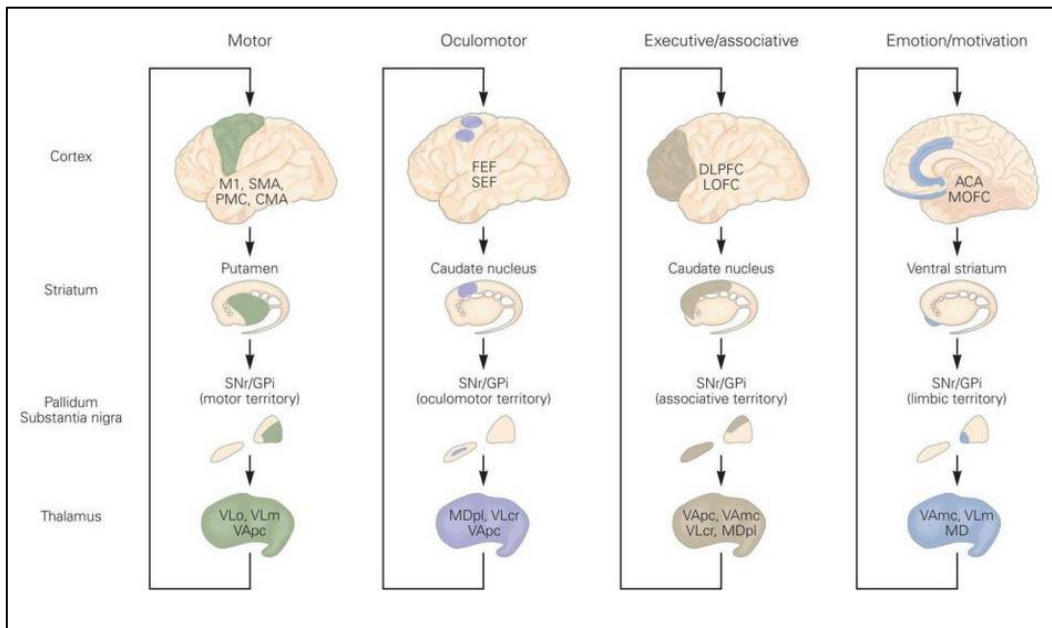


Figura I.2: Anatomía global de los circuitos cortico - ganglios basales - tálamo

Se observan los subcircuitos ordenados de izquierda a derecha: motor, oculomotor, prefrontal y límbico (11).

La alteración del funcionamiento del circuito de los GB, y por lo tanto, de las vías neurológicas en las que se ven involucrados, originan la serie de características clínicas que se detallan a continuación y que fueron descritas por primera vez en 1817 por James Parkinson (13). Con respecto al área motora, las alteraciones que caracterizan a la EP son:

- 1) **Bradicinesia:** reducción de la amplitud y velocidad del movimiento voluntario. Este es el síntoma más característico de la enfermedad y provoca que las personas con EP tengan problemas en la planificación, iniciación y ejecución del

movimiento, en el desempeño secuencial y en la realización de tareas simultáneas (8). La bradicinesia se manifiesta de diferentes modos, que incluyen la micrografía o disminución del tamaño de la escritura manual y/o la reducción del parpadeo y de las expresiones faciales (11). Pero su forma más característica es la marcha lenta, con pasos cortos, arrastrando los pies y con disminución o ausencia de braceo y congelamiento al caminar (10). Como signo de bradicinesia también está la dificultad para realizar movimientos automáticos, con la consecutiva necesidad de incrementar el control voluntario, manifestándose como una dificultad para llevar a cabo movimientos simultáneos. Los movimientos automáticos son ejecutados sin la atención directa sobre este o sobre los detalles de su realización, por lo que suelen ser movimientos con bajos niveles de precisión o movimientos que se realizan con frecuencia (14)

- 2) Rigidez muscular: aumento de la resistencia muscular al movimiento pasivo. Este síntoma puede provocar la reducción de la amplitud de los movimientos, la dificultad para girarse en la cama o incorporarse de una silla, dolores y calambres en las extremidades
- 3) Temblor de reposo: temblor de frecuencia entre 4-6 Hz. Aunque es el síntoma más conocido, no es el más característico. De los pacientes con EP, un 30% nunca llega a presentar este signo (8). Suele aparecer cuando la persona no se encuentra realizando ninguna tarea y tiende a desaparecer cuando inicia algún movimiento voluntario. Es más frecuente en las extremidades
- 4) Alteración de la postura: patrón flexor caracterizado por una postura encorvada, con las piernas un poco dobladas, el tronco inclinado hacia adelante y los brazos flexionados, además de alteración de los reflejos posturales (14). Este signo se acompaña de alteraciones del equilibrio e inestabilidad durante la bipedestación (8), provocando riesgo de caídas en situaciones de la vida diaria como levantarse de una silla o realizar un movimiento repentino.

Aunque las alteraciones motoras están bien descritas, estas son heterogéneas entre pacientes. Si bien no existe una clasificación formal de subgrupos de pacientes según el tipo de signos, clínicamente se han definido dos presentaciones clínicas: pacientes con predominancia en el temblor (y relativa ausencia del resto de signos motores) y pacientes sin predominio del temblor de reposo pero con una presentación de la enfermedad rígido-acinética acompañada de trastornos posturales y de marcha (14). En la literatura se describe además un tercer grupo de pacientes con síntomas motores mixtos de severidad variable. El curso y pronóstico de la enfermedad difieren entre estos subtipos clínicos, los pacientes en los que predomina el temblor se asocian con una progresión más lenta y de menos discapacidad funcional que en los sujetos sin temblor (15).

Por otra parte, los signos y síntomas no motores suelen aparecer en el inicio de la enfermedad e incluso comenzar antes que los signos motores clásicos, definiendo la fase premotora o prodrómica de la enfermedad. Estos signos y síntomas no motores son:

- 1) Trastornos autonómicos: alteración de la deglución, estreñimiento, disfunción olfativa, excesiva salivación, incontinencia, hipotensión, trastornos sexuales y sudoración
- 2) Trastornos cognitivos y psiquiátricos: dificultad al realizar tareas cognitivas complejas, varias tareas a la vez o demencia, común en estadios avanzados, así como alucinaciones
- 3) Trastornos del sueño: insomnio, somnolencia excesiva durante el día, alteración del sueño en fase REM y movimientos oculares rápidos al dormir
- 4) Trastornos emocionales: alteración del estado de ánimo y depresión (14)

Si bien la EP hoy en día es considerada una enfermedad de afectación multisistémica, son los signos motores los que se utilizan para su diagnóstico. Se han desarrollado una serie de criterios diagnósticos que pueden ser utilizados en la evaluación de pacientes de los que se tiene sospecha de padecer EP. Dos de las listas de criterios más utilizadas

son los criterios de *UK Society Brain Bank* y los criterios de *Queens Square Brain Bank*. En ambos, debe estar presente el signo de bradicinesia acompañado de uno del resto de signos cardinales de la EP: rigidez muscular, temblor o inestabilidad postural (16). La inestabilidad postural no debe estar producida por problemas visuales, vestibulares, cerebelares o propioceptivos. En el caso de los criterios *Queens Square Brain Bank*, la bradicinesia no solamente debe presentarse con lentitud de movimiento, sino que debe incluir fatiga progresiva y disminución de movimiento alternantes repetitivos durante el golpeteo de los dedos (17). A su vez, para valorar la progresión y severidad de la enfermedad, la más utilizada es la escala de Hoehn y Yarh (H&Y) (18) por la simplicidad de su valoración clínica (Tabla I.1). La clasificación del H&Y contempla una característica de la EP primaria de la enfermedad y es la asimetría del deterioro motor (19). Esta siempre comienza en un hemicuerpo, provocado por el déficit dopaminérgico de los ganglios basales contralaterales (20), sin embargo, esto no parece tener relación con el lado dominante de los pacientes (19). Aún así, se ha referido en la bibliografía que la prevalencia de la aparición de la enfermedad es mayor en el lado dominante (21).

Tabla I.1: Escala de Hoehn y Yarh

Estadio 0	No hay signos de la enfermedad
Estadio 1	Signos unilaterales o en un solo lado del cuerpo
Estadio 2	Signos bilaterales, sin alteración del equilibrio
Estadio 3	Signos bilaterales, con inestabilidad postural; físicamente independiente
Estadio 4	Incapacidad grave, aún capaz de caminar o permanecer de pie sin ayuda
Estadio 5	Permanece en silla de ruedas o encamado si no tiene ayuda

Se señalan los estadios de la escala Hoehn y Yarh y la descripción de cada uno de ellos.

Otra escala, ampliamente utilizada en investigación científica, para seguir el avance de la enfermedad es la "Escala unificada para la evaluación de la enfermedad de Parkinson" (*The Unified Parkinson's Disease Rating Scale [UPDRS]*). Esta cuenta con 45 ítems que evalúan desde el estado mental hasta los aspectos motores (22). Si bien la escala UPDRS es una batería de examinación mucho más completa que otros instrumentos que evalúan el estado del paciente con EP, el tiempo requerido durante la examinación es mucho mayor que con la escala de H&Y.

I.2. Marcha humana: biomecánica y control motor

Dentro de los signos y síntomas clínicos descritos en el apartado anterior, el deterioro de la marcha en la EP aumenta la discapacidad, incrementa el riesgo de caídas y reduce la calidad de vida. Las caídas son comunes entre las personas con EP, lo que puede terminar desencadenando miedo a caer, lesiones de diversa consideración y hospitalización. Se estima que la prevalencia de las caídas en la EP varía entre 40% y 90% y que el 50% de estas caídas ocurren durante la marcha (23). No solamente por estas razones la rehabilitación de la marcha es tan importante, sino que además, los propios pacientes consideran que las limitaciones de la movilidad y la marcha son los peores aspectos de la enfermedad (24). Por estos motivos se tratan con mayor profundidad las características de la marcha humana normal y parkinsoniana en este apartado.

La marcha dentro de la Clasificación Internacional del Funcionamiento (CIF), se recoge de una manera funcional dentro del concepto de *movilidad*, que a su vez es uno de los nueve dominios dentro de los componentes de *Actividad y Participación* propuestos por la Organización Mundial de la Salud (25). La *movilidad* comprende: 1) cambiar y mantener la posición del cuerpo, 2) llevar, mover y usar objetos, 3) andar y moverse, y 4) desplazarse utilizando medios de transporte. La actividad de caminar es caracterizada por la distancia recorrida, la habilidad para andar por diferentes superficies y para sobrepasar obstáculos tanto estáticos como dinámicos (26). Una importante cuestión a destacar de esta definición de *movilidad*, es que implica la habilidad para caminar en diferentes ambientes, ya sea dentro de casa, fuera de ella o para moverse de un sitio a otro dentro de una ciudad.

Tradicionalmente, las descripciones de la marcha, ya sean cinemáticas, electromiográficas o cinéticas, se hacen en referencia a los diferentes hitos del ciclo de marcha (CM). El CM de un solo miembro inferior consiste en dos fases principales: 1) apoyo, que comienza cuando el pie entra en contacto con el suelo y, 2) oscilación, la cual inicia cuando el pie deja de tocar el suelo (Figura I.3). A velocidad de marcha libre o

confortable, los adultos típicamente pasan un 60% del ciclo de marcha en la fase de apoyo y un 40% en la fase de oscilación. Aproximadamente, el 10% inicial y final de la fase de apoyo se realiza con doble apoyo, el cual se define como el periodo de tiempo donde ambos pies están en contacto con el suelo. Por el contrario, el tiempo de apoyo monopodal es el periodo donde una sola pierna está en contacto con el suelo, y ocurre mientras el miembro contralateral está en fase de oscilación (26,27).

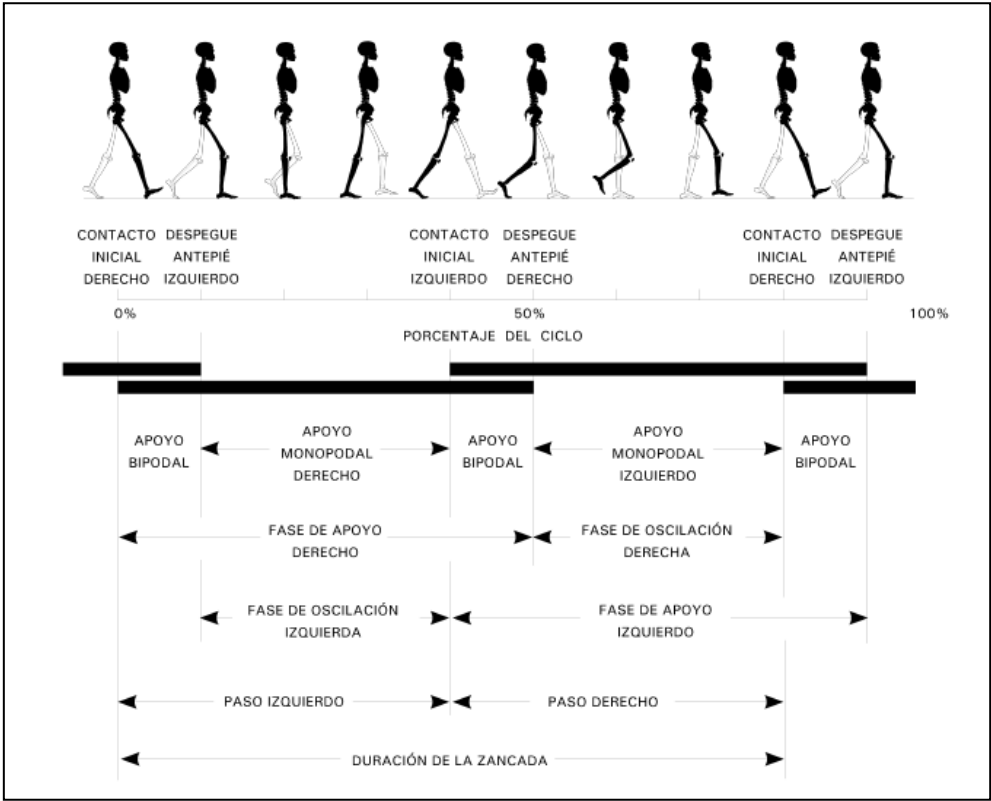


Figura I.3: Dimensiones espacio-temporales del ciclo de marcha

Se muestra el ciclo de marcha para la extremidad inferior derecha, representada de color negro en la imagen (27).

La fase de apoyo es descrita dividiéndola en cinco subfases: 1) contacto inicial, 2) respuesta a la carga (10%, ocurre en doble apoyo), 3) apoyo medio, 4) apoyo final (cerca

del 40% de la fase de apoyo, en el cual se está en apoyo monopodal), 5) pre-oscilación (último 10% del apoyo, en el cual se está en doble apoyo). Por otra parte, la fase de oscilación es dividida en tres subfases: oscilación inicial, oscilación media y oscilación final; todas estas subfases, ocurren con el apoyo monopodal de la pierna contralateral. Como se ha mencionado anteriormente, una de las formas de valorar estas fases es a través de las variables espacio-temporales y cinemáticas, las cuales se describen en el siguiente apartado ya que, precisamente, la alteración más evidente de la marcha de los pacientes con EP se observa en este tipo de parámetros.

I.2.1 Aspectos espacio-temporales de la marcha

Dentro de las variables espacio-temporales se suelen describir la velocidad, la longitud de paso, la longitud de zancada, la frecuencia de los pasos y los tiempos en ejecutar las fases e hitos del CM definidos en el apartado anterior. La velocidad de marcha es definida como la distancia recorrida por el cuerpo en la unidad de tiempo, usualmente en una dirección horizontal, y en la bibliografía científica es reportada en el sistema métrico (metros por segundo, m/s) (27). A pesar de que las personas sanas se mueven en un amplio rango de velocidades cuando necesitan adaptar la marcha a diferentes situaciones, usualmente nos movemos a una velocidad confortable autoseleccionada, preferida o confortable (VMC). Esta, corresponde con la velocidad a la que una persona realiza un mínimo gasto de energía por unidad de distancia recorrida; explotando al máximo las propiedades pendulares de la pierna y las propiedades elásticas de los músculos (26). Al aumentar la velocidad de marcha, la proporción del tiempo que pasamos en fase de oscilación y de apoyo cambia; progresivamente la fase de apoyo se va acortando en relación con la de oscilación. Por el contrario, a velocidades bajas de marcha, la fase de oscilación es relativamente constante, sin embargo, el tiempo de doble apoyo es el que se va modificando, llegando a alcanzar el 25% y 50% del ciclo, con pasos de duración de alrededor de 1,1 s y 2,5 s, respectivamente.

Asimismo, las personas para aumentar o disminuir la velocidad, autorregulan de manera automática otras variables como la longitud de paso y la cadencia. Esta última se define

como la frecuencia de pasos (27), mientras que la longitud de paso, tal y como se muestra en la Figura I.3 y I.4, es la distancia medida en la dirección de progresión que separa el apoyo inicial del pie contralateral y el apoyo inicial del pie del cual se mide la longitud de paso. La suma del paso derecho e izquierdo conforman la longitud de zancada (27).

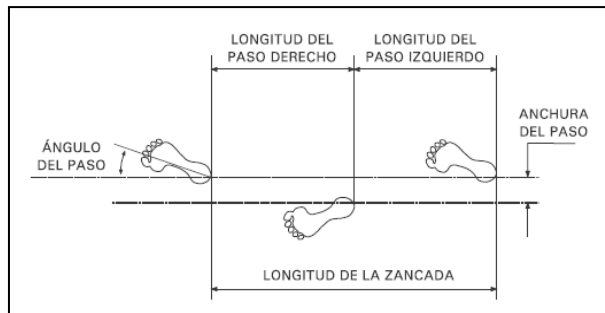


Figura I.4: Distancias y ángulos descritos en el ciclo de marcha.

Se muestran en una vista superior las distancias comprendidas para la longitud de paso y de zancada, ancho del paso y ángulo de paso (27).

Otro parámetro que se grafica en la Figura I.4 es el ancho o anchura del paso definido por la separación lateral entre los apoyos de ambos pies, usualmente medida entre los puntos medios de los talones. Esta dimensión coincide con la base de sustentación. Por último, el ángulo de paso queda enmarcado entre la línea medial del pie y la dirección de progresión de la marcha.

Como se ha mencionado al inicio de este apartado, las deficiencias de la marcha en la EP son más evidentes en los aspectos espacio-temporales, produciéndose una reducción de la velocidad y de la longitud de zancada, un incremento de la cadencia, del tiempo de doble apoyo y de la variabilidad zancada a zancada (23,28–30). Además, con la progresión de la enfermedad, estas alteraciones empeoran y aparecen signos como la festinación, el congelamiento y los patrones de marcha distónicos o discinéticos (23). En

la Tabla I.2 se indican valores referenciados en la literatura científica para la población sana y para la población con EP, de las principales variables descritas.

Tabla I.2: Valores de referencia de las principales variables espacio-temporales

	Estadio H&Y		Velocidad (m/s)		Longitud de paso (m)		Longitud de zancada (m)		Cadencia (ppm)	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Adultos sin EP entre 18 y 64 años (31)	-		1,43	1,28	-		1,46	1,28	111	117
Adultos jóvenes sin EP (27)	-		1,46		0,76		1,52		112,5	
Adultos mayores sin EP (32)	-		1,33		0,67		1,40		113	
Personas con EP leve (32,33)	1,67		0,83-0,94		0,49		0,97-1,03		102-108	
Personas con EP moderada (28,30)	2,79		63,3-0,77		-		1,03-1,06		89-119	

Se muestran los valores de velocidad, longitud de paso, longitud de zancada y cadencia para personas sanas de diferentes edades y con enfermedad de Parkinson de severidad leve y moderada. En los estudios que lo señalan, se indican los valores para mujeres y hombres.

La principal razón que explica la lentitud al caminar de los pacientes con EP es la incapacidad de dar un paso amplio. Mientras que la mayoría de los adultos mayores (AM) sanos caminan con una zancada entre 1,25 y 1,6 m, el rango para las personas con EP oscila entre 0,2 y 1,0 m. Algunos estudios respaldan que la cadencia también se ve reducida conforme avanza la enfermedad y contribuye al detrimento de la velocidad de marcha; sin embargo, otros autores apoyan la teoría de que la habilidad para modular la cadencia no se ve afectada y su aumento surge como un mecanismo compensador de la reducción de la zancada (30,34–37). Usualmente, cuando los estudios describen las alteraciones espaciotemporales de la marcha parkinsoniana, lo hacen utilizando la media entre hemicuerpo derecho e izquierdo. Los autores que consideran en el estudio de la marcha el hecho de que un hemicuerpo tiene mayor afectación que otro, describen una longitud de paso menor del mismo, alteración en el inicio de la marcha, diferencias en los tiempos de oscilación (38) y una desviación de la marcha hacia el lado

contralateral (hemisferio con presuntos niveles de dopamina más bajo) (39), además de las alteraciones posturales que también afectan de manera asimétrica el control axial (40). Por otra parte, aunque la progresión de la enfermedad termina afectando a ambos hemicuerpos, la asimetría persiste en el tiempo (41).

Otro signo característico de la marcha en la EP es el fenómeno *shuffling* o de marcha arrastrada, donde los pacientes no son capaces de elevar por completo el pie del suelo. Esto tiene un efecto en las variables espaciotemporales como el aumento del tiempo de doble apoyo, adicional al que proporciona la lentitud al andar (42). Por otra parte, algunos autores señalan que un buen indicador de las alteraciones de marcha en la EP es la variabilidad (32). Esta se define como las fluctuaciones de una determinada variable de un paso hasta el siguiente (43) y donde los pacientes con EP serían mucho más variables que sujetos controles sanos.

Si bien las variables espacio-temporales en concreto, han sido descritas en profundidad tanto en sujetos sanos como con EP, esta descripción se ha realizado en condiciones clínicas muy controladas, lo que conlleva la consecución del patrón de marcha bajo el control voluntario del individuo. Sin embargo, los contextos funcionales en los que se desenvuelve una persona demandan un control de la marcha dual caracterizado por la alternancia constante del control automático y volitivo del SNC.

I.2.2 Aspectos cinemáticos de la marcha

Otra forma de describir la marcha es a través de la cinemática del CM. La cinemática se define como el movimiento de las articulaciones y segmentos del cuerpo en el espacio (26,31). Una cuestión común referenciada en estudios previos es que las características cinemáticas dependen principalmente de la velocidad y no de otros factores como la edad (44), lo que apoya la metodología de caracterizar este movimiento a VMC. Si bien, el movimiento articular durante la marcha se puede describir en los planos frontal, transversal y sagital (Figura I.5), centraremos la descripción de lo que ocurre en la marcha normal y patológica en el plano de sagital, ya que es donde más se perciben las

alteraciones propias de la EP (28,29,45) y, para facilitar la comprensión de la misma, se especificarán los hitos más relevantes por las articulaciones implicadas.

Cinemática de la articulación de tobillo

El tobillo durante la marcha normal no experimenta un gran rango de movimiento articular (*Range of motion*, ROM), sin embargo, es esencial para la progresión y absorción del impacto en la fase de apoyo (27,46), facilitando el avance del miembro durante la fase de oscilación. En el transcurso de un CM en el plano sagital, el tobillo presenta dos trayectorias de flexión plantar y dos de flexión dorsal, alternativamente (Figura I.5). La flexión dorsal es el movimiento que aproxima el dorso del pie a la cara anterior de la tibia, mientras que el movimiento contrario se corresponde con la flexión plantar o extensión del tobillo (47). En la fase de apoyo, se producen de forma sucesiva una flexión plantar, una flexión dorsal y nuevamente una flexión plantar; mientras que, en la fase de oscilación, se registra una flexión dorsal. Durante la fase de respuesta a la carga (0 y 7% del CM), se produce el primer pico de flexión plantar que puede alcanzar hasta 7° de movimiento (Tabla I.3). En el apoyo medio se alcanza la dorsiflexión máxima de 10° durante el 48% del CM.

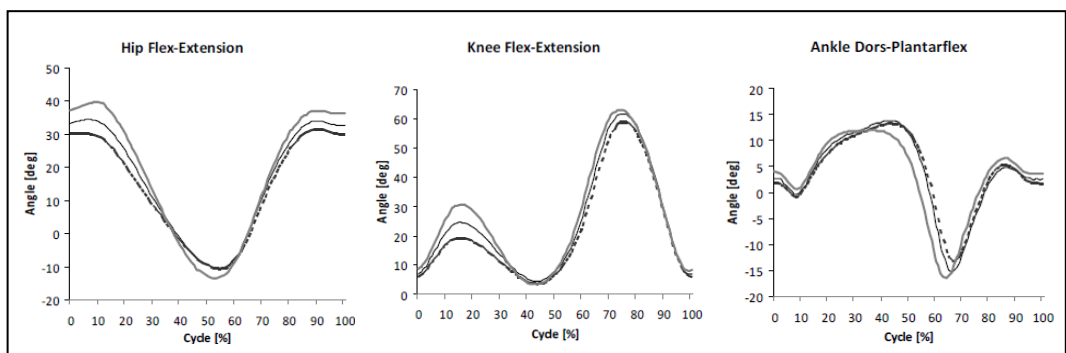


Figura I.5: Movimiento normal de la pelvis, articulación de cadera, rodilla y tobillo

Se muestran las gráficas de movimiento en el plano sagital para la articulación de cadera, rodilla y tobillo en una muestra de sujetos sanos durante el ciclo de marcha. La línea continua en negro representa el movimiento a velocidad de marcha confortable, la línea discontinua representa el movimiento a una velocidad lenta y la línea continua en gris representa una velocidad rápida (44).

A partir del instante de despegue del talón, se inicia un nuevo patrón de flexión plantar hasta un máximo de 30° al final de la fase de apoyo. Una vez el pie ha pasado a la fase de oscilación, se produce la segunda dorsiflexión hasta conseguir una flexión próxima a la neutra en la fase media de oscilación (27).

Tabla I.3: Arcos de movimiento normal durante el ciclo de marcha en plano sagital

Articulación de tobillo		Articulación de rodilla		Articulación de cadera	
Movimiento	Intervalo	Movimiento	Intervalo	Movimiento	Intervalo
F Plantar 7°	0-7%	Flexión 18°	0-15%	Flexión 30°	0%
F Dorsal 10°	7-48%	Extensión 5°	15-40%	Extensión 10°	50%
F Plantar 20°	48-62%	Flexión 65°	40-70%		
F Dorsal 0°	62-100%	Extensión 2°	70-97%	Flexión 35°	85%

Se muestran los grados de movimiento (°) alcanzados durante el ciclo de marcha (%) para las articulaciones de tobillo, rodilla y cadera en el plano sagital (27) medidos a una velocidad de marcha comfortable.

El patrón de las personas con EP, es similar al caracterizado en adultos mayores pero más agravado, es decir, con una progresiva disminución de la dorsiflexión (48) y con una menor flexión plantar durante el impulso y el despegue de los dedos, lo que provoca un patrón de marcha menos propulsivo (46). De hecho, es en el tobillo donde más se diferencian los patrones de movimiento normal y parkinsoniano. Roiz *et al.* (28) han informado que los pacientes con EP presentan un rango de movimiento inferior a 3°, cuya disminución ha sido correlacionada con el desempeño de pruebas clínicas como el test *Timed up & go*. Sofuwa *et al.* (33) han establecido esta disminución del ROM en un 19,8% menos que lo observado en controles sanos. Si bien las alteraciones de marcha se observan clínicamente en el estadio H&Y 3, la disminución del ROM se ha referenciado en estadio H&Y 2 con la alteración de la flexión plantar (33), mientras que en estadios más avanzados (2,5 - 3), la alteración de la dorsiflexión del tobillo contribuiría a la disminución del ROM, sobre todo durante la fase de oscilación (30).

Cinemática de la articulación de rodilla

La rodilla durante la marcha normal tiene un gran rango de movimiento en el plano sagital que va desde 0° a 70° y que permite la progresión de la fase de apoyo y el avance del miembro en la fase de oscilación. Está caracterizado por un movimiento alternativo de flexión y extensión, de cuatro trayectorias en cada zancada (44) (Figura I.5). En la fase de respuesta a la carga, la rodilla pasa inmediatamente a la flexión máxima de la fase de apoyo, alcanzando 18° y soportando la máxima carga del peso corporal durante el apoyo monopodal. Durante el resto de la fase de apoyo, la rodilla se va extendiendo gradualmente sin llegar por completo a la extensión máxima alcanzando 3° en promedio durante el 40% del CM (Tabla I.3). A continuación, en fase de oscilación, alcanza la máxima flexión de todo el ciclo, llegando a los 60-70° (27).

Los pacientes con EP son adultos mayores y por tanto, tienen una menor extensión durante el contacto inicial del talón y una menor flexión durante la fase de oscilación (44,48) debido al propio envejecimiento. Sin embargo, los estudios cinemáticos que comparan el movimiento de la rodilla entre personas con EP y los mayores sanos, refieren que el ROM puede no ser un buen parámetro para analizar lo que ocurre. Por una parte se ha referenciado que sí se observa un ROM inferior en la EP que en personas sanas de la misma edad (30) y, por otra parte, *Roiz et al.* no encuentran diferencias en el rango de rodilla entre sujetos controles y con EP (H&Y 2,5-3). A pesar de esto, este último trabajo sí menciona que la máxima flexión alcanzada durante la fase de vuelo es de 5° menos que en los controles sanos. Además, durante el contacto inicial del talón y la fase final del apoyo, los pacientes tienen una flexión de la rodilla de 4° más que los sujetos controles. Otros autores que analizan esta comparación en estadios menos graves de la enfermedad, no hallan diferencias en la cinemática de rodilla (33).

Cinemática de la articulación de cadera

El movimiento articular de cadera se define clínicamente como el movimiento del muslo en relación con la vertical, aunque, adicionalmente, existe un movimiento superpuesto

de la pelvis, lo que influye en el aumento o disminución del movimiento real de la articulación de cadera. Es por esto que se debe distinguir entre el movimiento de la cadera propiamente y el movimiento del muslo o fémur con respecto a la vertical (27). En el plano sagital, la cadera presenta dos trayectorias de movimiento durante una zancada normal: extensión en la fase de apoyo y flexión en la fase de oscilación (Figura I.5), cuya transición es de forma gradual y alcanza un rango total de movimiento de 40° (44). Si se considera como posición neutra, el fémur alineado con la vertical, la extensión alcanza 10° y la flexión alcanza los 30° de movimiento (27). La extensión máxima se logra alrededor del 50% del ciclo, cuando el miembro contralateral entra en contacto con el suelo. Por otra parte, la flexión máxima (35°) se logra dentro de las fases inicial y media dentro de la fase de oscilación (Tabla I.3) (27).

En las personas con EP, igual que ocurre con los adultos mayores, el movimiento de cadera funcionará como un mecanismo compensador de las alteraciones del tobillo (según la severidad de la enfermedad), que además estará influenciado por el patrón flexor típico del envejecimiento (48). Por esto que, tal como ocurre en la cinemática de la rodilla, el ROM total de cadera no siempre es un buen indicador de cómo se comporta esta articulación durante la marcha parkinsoniana. A pesar de esto, estudios que comparan el movimiento de cadera entre personas con EP y adultos mayores en distintos puntos del ciclo de marcha, evidencian que en el contacto inicial del talón y en la fase de vuelo, los pacientes con EP mantienen una flexión de cadera disminuida de alrededor de 15°, en comparación con controles sanos (28,30). Al analizar la máxima extensión alcanzada en el apoyo medio y final, mientras unos autores refieren una extensión mayor de los pacientes con EP en comparación con la de adultos mayores sanos (28), otros demuestran una disminución de este pico de movimiento (30,33).

En general, cuando se habla de asimetría de movimiento durante la marcha parkinsoniana, no se hace referencia al movimiento articular, sino a otros aspectos como el movimiento asimétrico de la oscilación de los brazos (49) o a la coordinación de los miembros inferiores medido a través del tiempo de oscilación durante el ciclo de marcha (38). La coordinación del movimiento normal de todas las articulaciones implicadas en

la marcha permite que se alcance el requerimiento principal de caminar: la progresión armónica hacia adelante del centro de masas del cuerpo humano. El movimiento que sigue el centro de masas no es rectilíneo sino que tiene una trayectoria sinusoidal (26,27), lo que es necesario para lograr una transferencia de energía eficaz y permitir que la marcha sea eficiente en relación al gasto metabólico realizado. La transferencia de energía que ocurre durante el ciclo de marcha son la conversión de energía cinética y potencial y la transferencia de energía entre segmentos (27). Por lo tanto, la alteración de la cinemática de la marcha estará influyendo en una serie de aspectos que atentan contra la funcionalidad de este gesto motor, lo que lleva a las personas con EP no solamente a moverse de una forma más lenta, sino a padecer un mayor gasto energético (48).

Como se ha mencionado anteriormente, hasta hace unos años la marcha era descrita únicamente bajo unas condiciones de control voluntario, un contexto ajeno a lo que las personas experimentan día a día ya que, en la marcha, habitualmente, se realizan múltiples tareas al mismo tiempo que se camina. No obstante, las últimas investigaciones abordan su estudio con un nuevo enfoque, teniendo en cuenta las exigencias cotidianas que se pueden producir durante la marcha. A continuación, se describe en detalle este nuevo contexto de evaluación.

I.2.3 La marcha parkinsoniana como tarea dual

La tarea dual (TD), en inglés *dual-task* o *dual-tasking*, es el término que se utiliza en la literatura científica para denominar al desarrollo simultáneo de dos tareas con diferentes objetivos (50) y que requieren de la atención para su ejecución. Una de las tareas es denominada como tarea primaria y la otra como tarea secundaria (51). Tradicionalmente, los estudios sobre la marcha se han realizado en condición de tarea única (*single task*) o simple (TS), donde los sujetos solamente están pendientes de la forma de andar mientras se les evalúa. No obstante, la evaluación de este gesto motor bajo condiciones TD, puede ser de utilidad en pacientes que presentan alteración del control motor, ya que provee una visión global del desempeño de la marcha en la vida

diaria. En actividades cotidianas, la forma de caminar necesita adaptarse a cambios de velocidad y dirección mientras desarrollamos una tarea adicional, ya sea cognitiva o motora de los miembros superiores; sin embargo, este contexto complejo se ha considerado en los estudios de análisis de marcha relativamente hace pocos años.

Desarrollar una tarea añadida a la marcha provoca que nuestra atención cambie constantemente entre la tarea primaria (marcha) y la tarea secundaria, dando lugar a una forma automática de caminar cuando prestamos atención a la tarea adicional. Esto es posible gracias al control dual de la marcha, basado en la continua interacción de los centros motores superiores de la corteza cerebral y los centros inferiores ubicados en tronco encefálico y la médula espinal (52). Este hecho hace más interesante aún el análisis de la marcha en condiciones de TS y TD, donde no solamente se podría estimar el desempeño que tienen las personas en un contexto más funcional, sino que, además, podría señalar la calidad del control de las diferentes estructuras que regulan la marcha automática y voluntaria.

Las alteraciones de la marcha son exacerbadas durante una TD. En el caso concreto de las personas con EP, el deterioro de la velocidad, de la zancada, la cadencia, de la simetría y la coordinación entre extremidades, empeoran aún más en condición de TD al ser comparada con la marcha en condición de TS; mientras que, variables como el tiempo de doble apoyo y la variabilidad de la marcha se ven incrementadas (52–54). Además, las caídas y los episodios de congelamiento son más comúnmente provocados en condiciones de TD.

El desempeño de la marcha como TD, está afectado por diferentes factores como el ambiente donde se realiza, la naturaleza de la tarea secundaria, la edad y los factores específicos relacionados con la enfermedad de cada individuo (23). Debido a que existen varias diferencias metodológicas que dificultan la comparación entre estudios, un buen indicador que permite comparar las diferentes evaluaciones en condiciones de TD, es el porcentaje de interferencia de la tarea secundaria sobre la marcha o tarea primaria. En la literatura científica esto es llamado también coste de la tarea dual y se define por la siguiente ecuación (55): $[(TD - TS) / TS] * 100$. De este modo, es posible comparar el

detrimento de cualquier variable de marcha entre diferentes tipos de tareas secundarias. Con respecto a esto, existe controversia sobre qué tipo de tarea interfiriere o deteriora más la marcha parkinsoniana. Por una parte, las tareas motoras secundarias son las que involucran actividades con los miembros superiores de diferente complejidad, e incluyen actividades como transportar objetos con las manos y manipular objetos durante la marcha como cambiar monedas de un bolsillo. Por otra parte, las tareas cognitivas abarcan un abanico de dominios cognitivos. Se han descrito evaluaciones de marcha mientras los sujetos caminan realizando tareas de fluidez verbal, de matemática de sustracción, de memoria, de procesamiento abstracto, de atención, etcétera. Hasta ahora, la conclusión más aceptada respecto a la interferencia de un tipo de tarea u otro es que, más allá de la naturaleza de esta, la magnitud del deterioro en la marcha viene dada por la complejidad de la tarea (23). A pesar de la cantidad de información publicada al respecto, aún no hay consenso acerca de qué tipo de tareas secundarias interfieren mayormente en la marcha de personas con EP.

Sobre lo que no cabe duda es que, dentro de los estudios de análisis de marcha durante condiciones duales, los déficits de la marcha dual empeoran con el aumento de la edad cuando se estudia a sujetos sanos, y que las personas con EP han demostrado constantemente unos déficits aún mayores que los sujetos controles emparejados en edad (56–58). En estas investigaciones, las variables estudiadas comprenden velocidad de marcha, longitud de zancada, cadencia y tiempo de doble apoyo, principalmente. Los sujetos con EP en las diferentes condiciones estudiadas (tareas motoras y cognitivas) realizan una marcha más lenta y con pasos más cortos que personas sin patologías de la misma edad. Ejemplo de esto es que se ha determinado que la interferencia de una tarea secundaria en la velocidad de marcha, es del 19% para personas con EP y del 7% para controles (59). Sin duda, la severidad de la enfermedad, la fase de la medicación (ON/OFF) y la presencia de signos como el congelamiento de la marcha, empeorarán el desempeño de las personas con EP al caminar en condiciones duales.

Si bien se conoce que la marcha de los pacientes con EP empeora bajo condiciones duales, el hecho de que no exista un consenso que determine si hay ciertas tareas

secundarias que puedan afectar mayormente a la marcha automática es un problema a la hora de introducir este tipo de "ambiente" a la rehabilitación física. Aunque, tanto tareas cognitivas como motoras con los brazos son igual de cotidianas en el día a día, conocer el grado en que los diferentes tipos de tareas perturban la marcha puede ayudar a establecer una progresión clara durante un entrenamiento. Además, esto puede ayudar al paciente a conocer qué tipo de actividades de la vida diaria tienen más riesgo de producir una caída y, por lo tanto, sobre qué actividades debería prestar más atención o tener más cuidado.

Anteriormente, se ha explicado que andar prestando atención al patrón de marcha que se ejecuta y caminar distraído en una tarea adicional se logra gracias al control nervioso dual de la marcha. Antes de continuar con la descripción de los estudios que incluyen tareas duales a la rehabilitación física de la EP, se explicará en qué consiste dicho control dual y cómo la enfermedad influye en este proceso.

I.2.4 Control de la marcha en tareas duales y simples

El control de la marcha se puede dividir en automático o voluntario. A esto se le denomina control dual de la marcha y es posible replicar o estudiar al incluir tareas secundarias mientras caminamos. De este modo, al caminar en condición de TS se presta atención al patrón de marcha y el desempeño estará regulado por las estructuras que participan en el control voluntario. Por el contrario, al caminar en una TD, el desempeño de la marcha será controlado por las estructuras que participan en el automatismo de la misma, gracias a que la atención estará enfocada en el desarrollo de la tarea secundaria. Se ha logrado describir la aportación de las estructuras nerviosas a la locomoción gracias a los diferentes experimentos en animales y los estudios en neuroimagen que corroboran el rol de éstas en el ser humano. La comprensión de estos procesos fisiológicos puede ayudar a los profesionales fisioterapeutas a entender mejor el movimiento de los pacientes con EP y, por lo tanto, a adecuar las intervenciones y su progresión con mayor precisión.

Control automático de la marcha

Cuando se realiza la marcha sin prestar atención a la misma, actúa un control automático. Una de las estructuras encargadas de este control es la médula espinal a través de los *centros generadores de patrones* (*Central Pattern Generation*, CPG). Estos regulan la actividad rítmica de la marcha donde la secuencia de movimiento es repetida y estereotipada, provocando la alternancia de flexión-extensión de la musculatura de los miembros inferiores por medio de la estimulación de las neuronas flexoras y extensoras de la médula espinal (11,60). A los CPG se les ha atribuido la capacidad de controlar la velocidad de marcha, lo que habla de su naturaleza para intervenir en secuencias de movimiento con un patrón temporo-espacial. Los experimentos realizados en gatos espinalizados (sin la influencia de cualquier estructura superior) revelaron que estos animales no solamente eran capaces de caminar en una cinta rodante, sino que también, al eliminar las influencias sensitivas a través de la sección de la raíz dorsal, seguían siendo capaces de generar un patrón locomotor. Esto revela que la excitabilidad de las neuronas de los CPG tiene una independencia de esta información sensorial; sin embargo, eso no significa que las señales sensoriales periféricas no sean relevantes para acomodar ese patrón locomotor rítmico a las circunstancias del medio. En los experimentos realizados con gatos espinalizados se determinó que, mediante la estimulación táctil de una de las patas, estos eran capaces de adaptar el ciclo de paso a ese "obstáculo percibido", por lo que ambos componentes (sensitivo y motor) le atribuirían también una función "adaptativa" durante la marcha (11).

Por otra parte, los experimentos en animales descerebrados han permitido identificar tres centros supraespinales involucrados en el control locomotor. Uno de ellos es la *región locomotora cerebelosa* (*Cerebellar Locomotor Region*, CLR), ubicada en la parte media del cerebelo que se corresponde con el núcleo fastigial. Este núcleo tiene la función de provocar movimientos locomotores bien coordinados y bilateralmente simétricos de las extremidades (61). Además, el cerebelo, no solamente participa en la locomoción mediante la CLR, sino que también por las aferencias sensitivas que integra a través del tracto espinocerebelar dorsal y ventral, los cuales llevan información de los

músculos y de las neuronas espinales de los CPG, respectivamente. Asimismo, recibe información visual y vestibular. Gracias a esto, y a las eferencias que tiene sobre el tronco cerebral (que a su vez se proyectarán hacia la médula espinal mediante las vías vestibuloespinal, rubroespinal y reticuloespinal), el cerebelo puede modular la locomoción, no para corregir errores, sino para alterar patrones de paso, además de afinar movimientos acorde a las tareas que se desarrollen (26).

El segundo centro locomotor está ubicado en el tegmento mesopontino, se trata de la *región locomotora mesencefálica* (*Midbrain Locomotor Region*, MLR), cuya localización incluiría el núcleo cuneiforme y el núcleo pedúnculo-pontino tegmental (PPN). La MLR permite corregir la marcha y el tono muscular postural, ya que el PPN interviene en la inhibición de las motoneuronas alfa y gamma que inervan los músculos extensores y flexores, paralelamente a las interneuronas que median la locomoción. Además de la MLR, un tercer centro ha sido descrito en el área hipotalámica lateral llamado *región locomotora subtalámica* (*Subthalamic Locomotor Region*, SLR). Este centro se encuentra en un nivel más alto que la MLR y permite una locomoción espontánea con un control postural bien coordinado. Además, tiene conexiones directas con la vía locomotora del tronco encefálico más allá de la MLR (60).

Por otra parte, los experimentos de decorticación en animales han permitido describir el funcionamiento de las estructuras más superiores, como la de los GB (11). Antes, hemos mencionado que los GB, alterados en la EP, contribuyen en el movimiento voluntario y automático, gracias a las múltiples conexiones que tienen con la corteza y con el tronco cerebral, respectivamente. Concretamente, las zonas MLR y PPN reciben proyección GABAérgicas de los GB. El aumento de la producción de GABA por los GB por estimulación eléctrica, redujo la actividad del sistema generador rítmico de la MLR y el PPN, lo que resulta en la supresión de la locomoción y en un aumento del tono muscular postural. Estos hallazgos son clínicamente muy importantes porque ayudan a explicar los signos característicos que se observa en la EP (62). Por el contrario, un cambio de frecuencia en la estimulación cerebral profunda del núcleo de salida de los GB (*sustancia nigra*), mejora los signos motores como los fallos en la marcha y las alteraciones

posturales en pacientes con EP (63). Además de lo anterior, apoyando el rol de los GB en el control motor automático, se encuentran los estudios de neuroimagen que demuestran que en los movimientos generados internamente y automatizados se ha evidenciado actividad de los GB, mientras que los movimientos nuevos o con señales externas utilizan principalmente vías alternativas en las áreas premotora lateral, parietal y cerebelar (64).

Control voluntario de la marcha

Si bien es posible generar un patrón automático de movimiento, para aprender habilidades motrices o para moverse en circunstancias desconocidas, se requiere control cognitivo de la postura y la marcha. Esta depende de la propia cognición, de la información sensitiva del propio cuerpo y de la localización espacial de los objetos en el espacio extra personal, además de la generación de patrones motores voluntarios. Esto influye en que el movimiento voluntario ocurre en función de una referencia cognitiva o emocional, lo cual quiere decir que, tanto en la marcha como en otros tipos de actividades, la motivación es fundamental (60). Aun cuando se ejecute una forma de caminar voluntaria, la marcha siempre irá acompañada de un proceso automático de control postural que incluye el ajuste del equilibrio y la regulación del tono muscular.

El movimiento voluntario se origina en la corteza cerebral, la cual tiene un importante papel en el control de la marcha en espacios o terrenos desconocidos. Las áreas motoras del lóbulo frontal son las responsables de la generación del movimiento propiamente dicho. El área motora primaria, suplementaria y premotora son las áreas responsables de controlar el movimiento de las extremidades contralaterales, del control postural anticipatorio (preparación para el movimiento) y de planificar y programar el movimiento de marcha, respectivamente. Estas áreas, conocidas también como áreas 4 y 6 de Brodman, transforman información proveniente de otras estructuras en movimiento locomotor espacialmente dirigidos. Es decir, regulan el movimiento voluntario que tiene un objetivo concreto. La disfunción en el lóbulo frontal, provoca en pacientes problemas en la iniciación de la marcha (congelamiento) (62), igual que

ocurre en la EP. Otra área que contribuye a la generación del movimiento locomotor es la corteza motora prefrontal (área 46 de Brodman). Se ha referenciado en estudios de neuroimagen que esta zona se hiperactiva si aumenta la velocidad de marcha (11) o si se requiere una implicación cognitiva (65).

Antes se ha mencionado que para que el movimiento voluntario se produzca, debe haber un objetivo concreto que se quiera alcanzar. Esto no podría ocurrir sin la información recibida del medio que nos rodea por el lóbulo parietal anterior y posterior, área somatosensorial primaria (3, 1 y 2 de Brodman) y de asociación (5 y 7 de Brodman) respectivamente. En ellas se recibe e integra información visual, vestibular y somatosensorial (60) lo que provee una representación métrica del espacio en tres dimensiones (11). De hecho, la visión es el componente más importante en la modulación de la marcha voluntaria. Asimismo, los estudios en animales con lesiones en la corteza parietal han demostrado la corteza parietal posterior registra y almacena la relación temporoespacial entre un obstáculo y la información corporal propia en la memoria a corto plazo, la cual se utiliza para producir programas motores en las cortezas motoras (60).

Además de las zonas de la corteza cerebral, en el control voluntario de la marcha también participan sub-estructuras que tienen conexiones con las áreas descritas anteriormente. En el movimiento volitivo, los GB son fundamentales en el circuito motor esquelético, ya que reciben las aferencias provenientes de la corteza para regular el movimiento que se originará, facilitando su condición y suprimiendo la conducción de esquemas motores innecesarios o perturbadores (10,66). Si en la SNc existe un déficit de dopamina, tal como ocurre en la EP, se altera la comunicación entre los GB y por lo tanto también se altera el refuerzo de estos sobre los movimientos iniciados por las neuronas corticales, provocando un estímulo disminuido desde el tálamo hacia la corteza cerebral que limita el movimiento voluntario. Por el contrario, la degeneración de otros núcleos de los GB puede producir un "exceso" de movimiento caracterizado por movimientos involuntarios de las extremidades (11) lo cual también perturba gravemente la marcha. Las aferencias que reciben los GB de la corteza cerebral, proveniente de las áreas motora

primaria, motora suplementaria, corteza premotora y área cíngulo motora, implica que las funciones motoras de los GB se extienden a la selección de una acción, la preparación, ejecución y secuencia del movimiento, al auto inicio o recuerdo de movimientos ejecutados y al control de los parámetros de ese movimiento y refuerzo del aprendizaje motor (11).

Por lo tanto, tal y como hemos descrito, los GB tienen un rol tanto en el control de la marcha voluntaria como automatizada. En el contexto de la rehabilitación de marcha se recurre a ejercicios que priorizan la estimulación de las vías de control consciente, sin embargo, no está del todo claro si la estimulación de ambas vías de control puede mejorar efectivamente y, de un modo similar, la marcha voluntaria y automática de los pacientes con EP. Además, tal y como se ha descrito, en el control automático de la marcha participan varias estructuras que podrían reforzar su ejecución aun cuando los GB padezcan un proceso degenerativo.

I.3 Rehabilitación de la marcha parkinsoniana con tareas duales

Para facilitar un estilo de vida activo, es necesario establecer estrategias no farmacológicas efectivas, como programas de rehabilitación física que permitan a los pacientes desenvolverse en ambientes cotidianos, disminuyendo el riesgo de caer, las lesiones concomitantes y el miedo a las caídas, en todos los escenarios posibles. Para lograr este objetivo, la rehabilitación de la marcha incluyendo tareas duales parece ser adecuada, ya que ofrece un entrenamiento desafiante que involucra tanto habilidades motoras como cognitivas, imitando ambientes complejos de marcha como puede ser caminar dentro de una casa desconocida, en un supermercado o en una calle atestada de gente (67). Si bien este tipo de entrenamiento supone un desafío para los pacientes, estudios recientes han demostrado que el ejercicio, cuando es particularmente desafiante, induce a la neuroplasticidad en pacientes con EP, expresando cambios en la materia gris en ciertas zonas cerebrales (68) y aumento en la cantidad de receptores D2 de dopamina (69). Además, el entrenamiento que implica un reto motor y cognitivo exigente puede inducir efectos sinérgicos para la plasticidad cerebral (70), lo que podría

conducir a una mejor transferencia de los efectos del entrenamiento a situaciones de la vida real (67,71), que a su vez sería un indicador más robusto de aprendizaje, que el mismo rendimiento de la marcha.

Aunque hay una gran cantidad de estudios demostrando las mejorías relacionadas con la rehabilitación de marcha en condición de TS, la bibliografía que apoya que los déficits de la marcha en TD pueden ser mejoradas con el entrenamiento es reducida. Aunque estos estudios han indicado una mejoría de las personas con EP en este sentido, las diferencias metodológicas y las deficiencias de diseño aún plantean interrogantes sobre los beneficios y la posibilidad de incluir tareas duales a la rehabilitación de la marcha. En este apartado se revisarán los estudios clínicos que realizan rehabilitación de marcha en personas con EP y que incluyen en sus programas tareas duales cognitivas y/o motoras.

Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda de artículos en inglés en las bases de datos proporcionadas por el servicio ISI Web of Knowledge. Los términos utilizados para la revisión fueron: ((rehabilitation OR physical therapy OR physical program OR physical training OR exercise) AND (walk OR gait OR walking) AND (parkinson OR parkinson's disease) AND (dual task)). Esta búsqueda se realizó en los campos de título, resumen y palabras claves y fue adaptada para cada base de datos. Los estudios fueron recogidos durante el año 2014, aunque se corroboró la publicación de nuevos artículos durante el año 2018.

Criterios de inclusión

- *Tipos de ensayos:* se incluyeron estudios en los que los sujetos participasen en un ensayo clínico cuyo objetivo fuese el entrenamiento de la marcha incorporando tareas duales. Se incluyeron tanto ensayos controlados aleatorizados (ECA) como no aleatorizados y estudios clínicos de series temporales y medidas repetidas. Fue necesario aceptar la revisión de diferentes diseños de ensayos

clínicos debido a la cantidad acotada de estudios realizados en rehabilitación física con tareas duales

- *Tipo de participantes:* el total de los sujetos debían tener diagnosticada enfermedad de Parkinson idiopática. No hubo restricciones con respecto al tiempo acontecido desde el diagnóstico ni con respecto a la edad de los sujetos
- *Tipo de intervención:* se incluyeron los estudios que señalaran haber realizado ejercicios de tareas duales incluyendo la marcha como tarea primaria
- *Tipos de resultados:* se aceptaron en la revisión los estudios cuyas variables resultado comprendían parámetros biomecánicos, independientemente de si además se midieron test o escalas clínicas u otro tipo de variables.

Criterios de exclusión

- Estudios en los cuales el diagnóstico de EP fuera debido a parkinsonismos secundarios, heredo-degenerativos o síndrome de Parkinson plus (10)
- Estudios que solamente estudiaran el congelamiento de la marcha.

Recolección de resultados y análisis

Una vez aplicados los criterios de inclusión para la selección de los artículos relevantes, se obtuvieron de los mismos las características de los participantes (e.g. edad, género, severidad de la enfermedad), objetivos del estudio, características de la evaluación y tareas secundarias utilizadas, intervenciones realizadas (tipo, dosis, frecuencia y duración), y resultados obtenidos (parámetros, valoraciones e instrumentos usados). Los datos fueron obtenidos del texto publicado, así como de las figuras y tablas. En caso de duda se contactó con los autores.

Calidad de los artículos

La calidad de los estudios científicos puede ser evaluada por listas de verificación y por escalas de evaluación. Ambas incluyen ítems o criterios que miden la calidad de los

estudios. Se utilizó la escala PEDro (*Physiotherapy Evidence Database*) (72) para evaluar la calidad metodológica de los estudios incluidos en esta revisión. Esta escala, compuesta de 11 ítems, fue desarrollada principalmente para valorar la validez interna (ítems 2-9) y la información estadística (10-11) de los ensayos clínicos aleatorizados en las áreas de la fisioterapia. Un solo ítem se relaciona con la validez externa (ítem 1), pero este no se incluye en la puntuación final, el que va de 0 a 10 (72).

La fiabilidad general de esta escala ha sido informada en trabajos anteriores con un índice de correlación interclase ≥ 0.89) indicando una fiabilidad de "buena a excelente" (72-74). Los estudios con puntuaciones de 9-10 en la escala PEDro se consideraron "excelentes" desde un punto de vista metodológico, puntuaciones de 6-8 se consideraron de "buena" calidad, mientras que aquellos con una puntuación de 4 o 5 fueron de calidad "regular". Los estudios con puntuaciones inferiores a 4 se consideraron de "mala" calidad. Todos los ensayos, independientemente del diseño, fueron valorados con escala PEDro, con el objetivo de visualizar en un mismo baremo los estudios existentes.

Resultados de la búsqueda bibliográfica

Se recogieron 28 artículos de la búsqueda inicial, de los cuales se revisó título, resumen y objetivo. De estos estudios, 9 ensayos clínicos reunieron los criterios de inclusión y fueron almacenados para una revisión completa del texto, los cuales, en su totalidad, cumplieron los criterios de inclusión como se aprecia en la Figura I.6.

En algunos estudios, la descripción del tratamiento realizado se explica con detalle en publicaciones diferentes. Para la revisión exhaustiva de cada programa de intervención también se consideraron estos artículos por lo que, si bien se analizaron 9 estudios clínicos, las publicaciones revisadas ascendían a 12. Cuando el estudio clínico publicó un primer ensayo piloto, éste fue revisado, pero no se consideraron sus datos en la redacción de este apartado. Por otra parte, uno de los ensayos solamente ha publicado

hasta la fecha el protocolo propuesto para la rehabilitación de marcha con tareas duales, sin incluir resultados.

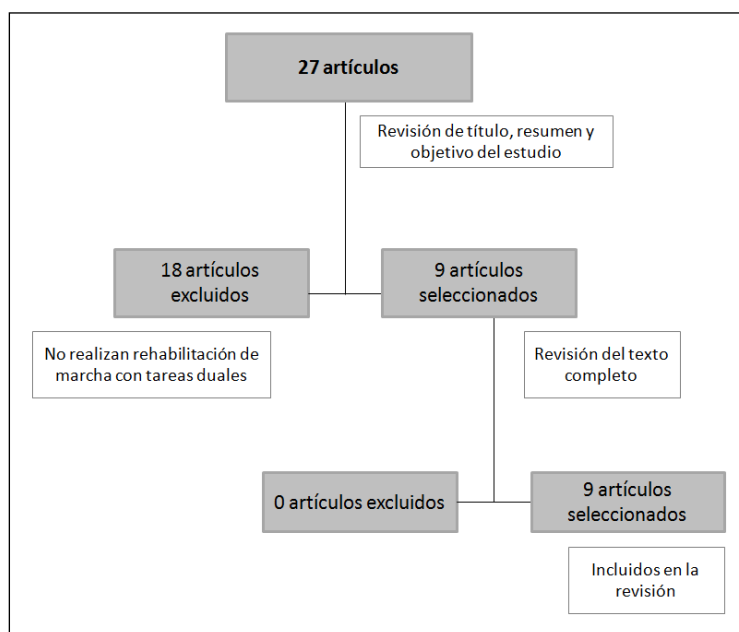


Figura I.6: Proceso de selección de los artículos científicos incluidos en la revisión sobre rehabilitación de marcha con tareas duales.

El listado de ensayos clínicos seleccionados que han estudiado la rehabilitación de la marcha en condiciones duales en pacientes con EP, y las publicaciones relacionadas con estos ensayos clínicos son:

- 1) Strouwen Carolien *et al.*
 - a. Training dual task together or apart in Parkinson's disease: results from the DUALITY trial (75).
 - b. Protocol for a randomized comparison of integrated versus consecutive dual task practice in Parkinson's disease: the DUALITY trial (67).
- 2) Conradsson David *et al.*
 - a. The effects of highly challenging balance training in elderly with Parkinson's disease: a randomized controlled trial (76).

- b. A novel conceptual framework for balance training in Parkinson's disease-study protocol for a randomised controlled trial (77).
 - c. Is highly challenging and progressive balance training feasible in older adults with Parkinson's disease? (78).
- 3) Brauer Sandra *et al.* Single and dual task gait training in people with Parkinson's disease: a protocol for a randomised controlled trial (79).
 - 4) Fok Pamela *et al.* The effect of dividing attention between walking and auxiliary tasks in people with Parkinson's disease (80).
 - 5) Fok Pamela *et al.* Prioritizing gait in dual-task conditions in people with Parkinson's (81).
 - 6) Yogev-Seligmann Galit *et al.* A training program to improve gait while dual tasking in patients with Parkinson's disease: a pilot study (82).
 - 7) Mirelman Anat *et al.* Virtual reality for gait training: can it induce motor learning to enhance complex walking and reduce fall risk in patients with Parkinson's disease? (83).
 - 8) Brauer Sandra; Morris Meg. Can people with Parkinson's disease improve dual tasking when walking? (84).
 - 9) Canning Colleen *et al.* Multiple-task walking training in people with mild to moderate Parkinson's disease: a pilot study (85).

En la Tabla I.4 se presentan los resultados de la escala PEDro ordenados por año de publicación, en función de cada criterio evaluado y de la puntuación total.

Cuando los estudios no comunicaban suficiente información para otorgar el puntaje en cada ítem, se marcó con la valoración más baja (72). Las puntuaciones totales de los estudios en la escala PEDro variaron entre 6 y 9 puntos, lo que significa que los estudios presentaron una "buena" o "excelente" calidad metodológica.

Tabla I.4: Resultados escala PEDro sobre calidad metodológica de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson

Primer autor y año de publicación	Criterios evaluados en la escala											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Strowen <i>et al.</i> 2017	✓	✓	x	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	8
Conrradson <i>et al.</i> 2015	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	8
Yogev-Seligmann <i>et al.</i> 2012	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	6
Fok <i>et al.</i> 2012	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	6
Mirelman <i>et al.</i> 2011	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	6
Brauer <i>et al.</i> 2011	✓	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	9
Fok <i>et al.</i> 2010	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	6
Brauer and Morris <i>et al.</i> 2010	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	6
Canning <i>et al.</i> 2008	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	6

Se muestra la valoración en cada criterio de la escala PEDro y la puntuación total para cada estudio analizado identificado por primer autor y año de publicación.

Diseño de los estudios

Entre los estudios revisados se encontró una gran variedad en los diseños empleados. El estudio de Strouwen *et al.* corresponde a un ensayo clínico de series temporales simple ciego en donde hay dos grupos experimentales a los que se les aplica dos diseños de tratamiento diferentes relacionados con las tareas duales y en el cual no se incluye grupo control (67,75). Solamente el estudio realizado por Brauer *et al.* incluye los tiempos de evaluación de un diseño de series temporales (79), pero al mismo tiempo corresponde a un ensayo controlado aleatorizado simple ciego, del cual aún no se han publicado sus resultados. Además de este, solamente el ensayo realizado por Conradsson *et al.* corresponde a un ensayo controlado aleatorizado simple ciego (76), en el que a diferencia del estudio de Brauer *et al.*, se realizan los tiempos de evaluación habituales (pre intervención o basal, post entrenamiento y seguimiento). El resto de ensayos controlados son dos publicaciones de Fok *et al.* en distintas fechas, sin embargo, estos ensayos no son aleatorizados e incluyen una única sesión de tratamiento (80,81), en las cuales se aplica un tipo de tratamiento diferente en cada investigación. Por último, cuatro de los estudios revisados corresponden a ensayos de medidas repetidas, en los que no se incluye un grupo control y en donde los tiempos de evaluación realizados son

pre intervención, post tratamiento y seguimiento (82–85). En los estudios que son simple ciego, los evaluadores o las personas encargadas de realizar los análisis estadísticos no conocen a qué grupo de tratamiento pertenecen los voluntarios del estudio.

Muestra y criterios de participación

Todos los participantes incluidos en los ensayos revisados tenían enfermedad de Parkinson idiopática. La mayoría de estudios no mencionan los criterios de diagnóstico de los pacientes, pero algunos autores como Strouwen *et al.* y Brauer *et al.* describen que el diagnóstico de la enfermedad debía ser acorde a los criterios determinados por *UK Brain Bank* o *Queens Square Brain Bank* en el caso de Conradsson *et al.* El tamaño muestral de los distintos ensayos se muestra en la Tabla I.5 y varía sustancialmente entre los distintos estudios. La investigación con mayor muestra cuenta con 121 personas, y se trata del estudio de series temporales en donde cada grupo experimental tiene 65 y 56 pacientes (67,75). Los ensayos controlados aleatorizados de Brauer *et al.* y Conradsson *et al.* cuentan con 60 y 91 pacientes respectivamente, en donde cada grupo experimental tiene una muestra de 30 (79) y 47 (76) sujetos. Los ensayos no controlados de Fok *et al.* cuentan con 12 pacientes (6 en cada grupo de ambos estudios) y por último, en los ensayos clínicos sin grupo control, el tamaño muestral varía entre 5 y 20 pacientes. Solamente los estudios de Strouwen *et al.* y Conradsson *et al.* describen el procedimiento utilizado en el cálculo del tamaño muestral necesario para observar un efecto determinado, ajustándose a lo requerido. En estos cálculos, la variable principal utilizada es la velocidad de marcha medida en condición de tarea única (marcha sin tareas secundarias) o en condición de tarea dual. Los estudios que no mencionan haber realizado un cálculo del tamaño muestral incluyen un número de participantes muy inferior a los estudios de los autores que sí describen este procedimiento.

En relación con las principales características de las muestras, los valores medios de las edades de los participantes varían entre 61 y 72 años y en su mayoría los participantes son hombres, lo que es común debido a que se ha referenciado ampliamente en la

literatura que la enfermedad predomina en personas con género masculino. Por otra parte, la severidad de la EP de los sujetos varía principalmente entre el estadio II y III de H&Y, aunque Brauer *et al.* incluye pacientes en estadio IV. Por último, todos los participantes de los estudios revisados presentaron un estado cognitivo normal, debido a que este era uno de los principales criterios para participar en los ensayos clínicos. La mayoría de los estudios, para evaluar el estado cognitivo de los pacientes, utilizan la prueba *Mini Mental State Examination*, en la cual los participantes debían tener una puntuación igual o mayor a 24 puntos. Además, tres de los autores utilizan para la evaluación del estado cognitivo otras herramientas como *Diagnostic and Statical Manual of Mental Disorders* (DSMMD) y la prueba Montreal Cognitive Assessment (MCA), tal y como se muestra en la Tabla I.5.

Dentro de los criterios de inclusión utilizados por los autores, son de carácter general: diagnóstico de EP idiopática, capacidad de marcha independiente durante un tiempo determinado (5 minutos, 10 minutos) o unos metros definidos (10m, 12m, 30m e incluso 100m), medicación parkinsoniana estable durante los últimos tres meses y severidad de la enfermedad de leve a moderada (Y&H II-III). Algunos autores (80,81,85) especifican que los pacientes deben presentar o referir dificultad al caminar, pero respetando el criterio de marcha independiente. Una de las formas de evaluar la alteración de marcha fue con la parte motora de la escala UPDRS, presentando menos de 3 puntos (83,85); aunque Brauer *et al.* van más allá y establecen como criterio presentar disminución de la longitud de paso o de la velocidad de marcha (79). En relación con los criterios de exclusión todos los autores refieren el deterioro cognitivo y cualquier otro desorden neurológico distinto a la EP; además de la presencia de cualquier enfermedad crónica inestable que pudiese interferir en el desempeño de la marcha o de cualquier tarea cognitivo o motora. También se hace mención dentro de los criterios de exclusión a que los sujetos presentaran disquinesia o que esta fuera lo suficientemente grave o incapacitante que impidiera el movimiento voluntario, evaluada con la escala *Modified Dyskinesia of the Severity* (puntaje <2) (80,81,84,85). En algunos estudios la cirugía de estimulación cerebral profunda también era excluyente (79,85) o algún otro síntoma

irregular en la enfermedad como lo son los episodios de congelación de marcha. Además de los criterios ya mencionados, algunos autores restringen la participación de sujetos a un grupo etario determinado como Conradsson *et al.* que determina una edad de corte de 60 o más años, Yogev Seligman *et al.* que sitúan la edad de participación entre 50 y 90 años y, en el caso de Brauer *et al.*, determina como criterio tener más de 18 años. Por último, en la mayoría de los ensayos clínicos revisados no se menciona si los pacientes siguen otro tipo de terapia o tratamiento mientras participan en el estudio; solamente uno de los autores informa que los pacientes de su ensayo siguen realizando otras terapias físicas que no tienen relación con la marcha o con ejercicios cognitivos (75).

Otros datos que los estudios han utilizado para describir a la muestra de sujetos son el tiempo de duración de la enfermedad desde el diagnóstico, presencia de episodios de congelamiento (sí/no), frecuencia de caídas en el último tiempo (sí/no), dosis de levodopa, realización de estimulación cerebral profunda y datos provenientes de la evaluación con instrumentos psicométricos, los cuales se señalan en la Tabla I.5.

Metodología de evaluación

Una norma general utilizada por los estudios fue realizar el procedimiento de evaluación de los pacientes durante la fase *on* de la medicación, descrito como un periodo de tiempo en el cual la medicación anti-parkinsoniana tiene su mayor efecto y la función motora es óptima, lo que usualmente ocurre tras una hora de la toma habitual (80,84).

En relación con los tiempos de evaluación, tal y como se muestra en la Tabla I.6, los dos estudios de series temporales incluyen cuatro fases (75,79): basal 1 que se corresponde a una primera valoración semanas antes de comenzar la rehabilitación; basal 2 que corresponde a la medida inmediatamente antes del tratamiento; postrehabilitación que es la medida realizada al acabar las sesiones de fisioterapia y, por último, una medida de seguimiento realizada tras varias semanas finalizada la rehabilitación y que se utiliza para observar los cambios retenidos en el tiempo. El resto de ensayos controlados y de medidas repetidas incluyen solamente las últimas tres etapas de evaluación, a excepción de dos ensayos que no incluyen la evaluación de retención (76,84). El tiempo en que se

realiza la medida de seguimiento varía considerablemente entre los distintos estudios revisados, siendo el máximo observado de 6 meses (79), mientras que en el resto de estudios el tiempo de la medida de retención es de 3 meses, 1 mes, 3 semanas y, en el caso del estudio que realiza una sesión única, 30 minutos (Tabla I.6).

Dentro de las técnicas biomecánicas descritas en los estudios, todos los autores (con excepción de Yogev Seligman *et al.*) utilizan el pasillo instrumentado de marcha *GAITRite Walkway System* para medir parámetros espaciotemporales. Este sistema está compuesto de una alfombra de presión electrónica usualmente de 8 metros de largo (o 7 m) y de 0,89 m de ancho y se suele utilizar a una frecuencia de muestreo de 60 Hz. Esta alfombra instrumentada suele ubicarse sobre el suelo en una longitud de 10 m a 12 m, para permitir que los pasos iniciales y finales de aceleración y desaceleración no se registren en el área efectiva de medida. Por otra parte, Yogev Seligman *et al.* utilizan plantillas instrumentadas dentro del calzado de los pacientes para determinar tiempo de zancada y de oscilación. Además de los instrumentos ya mencionados, los autores también utilizaron un acelerómetro portátil ubicado en la cintura para medir variables relacionadas con la actividad de la vida diaria o el nivel de actividad física a través de la cantidad de pasos/día en el caso de Conradsson *et al.*, y para medir tiempo de zancada y variabilidad de marcha en el caso de Mirelman *et al.* Por último, Fok *et al.* además de utilizar el pasillo instrumentado registra las evaluaciones de marcha con cámara de video a una frecuencia de 25 Hz. Ninguno de los estudios utiliza un sistema de fotogrametría.

En todos los estudios, la marcha fue evaluada en dos condiciones, como tarea única y como tarea dual, es decir, al mismo tiempo que se desarrolla una tarea secundaria cognitiva o motora. En varios ensayos, las condiciones duales evaluadas son más de una. En cada condición los sujetos caminaron un número determinado de veces por el pasillo utilizado en la evaluación, de esas repeticiones se extrajo una media para cada parámetro evaluado. No todos los autores mencionan el número de repeticiones realizadas. Los ensayos que explican este dato realizan 2 (75,81) y 6 (76) marchas por cada condición, las que se describen en la Tabla I.6. En ninguno de los ensayos

publicados se hace mención al criterio establecido para aceptar las repeticiones de marcha como válidas. Este punto es importante puesto que el patrón de marcha cambia entre repeticiones cuando existe una diferencia de velocidad mayor al 10% entre las marchas evaluadas. De no respetar el criterio de velocidad, se obtendría una media (de las variables evaluadas) sesgada por la variabilidad que produce los cambios de velocidad en la forma de caminar.

En relación con la evaluación de la condición de tarea única, se valora solamente el desempeño de marcha a velocidad confortable y, en algunos estudios, a máxima velocidad o tan rápido como sea posible. Algunos autores también valoran en condición de tarea única la tarea cognitiva añadida en condición de tarea dual, es decir, se valora el desempeño de la tarea secundaria de manera aislada para corroborar si cambia cuando se ejecuta durante la marcha. Solamente Yogev-Seligmann *et al.* valoran la marcha en condición de tarea única dos veces en la misma sesión de evaluación, al inicio y al final. Esto es importante porque permite corroborar que el desempeño de marcha es el mismo antes o después de realizar las condiciones duales. Con respecto a las tareas secundarias utilizadas, todos los autores valoran la marcha con una tarea cognitiva añadida, y en algunos ensayos, también se incluye una tarea motora con los brazos. La tarea cognitiva más utilizada por los autores es de tipo verbal, ya sea de fluidez, mencionando tantas palabras como sea posible sobre un concepto en concreto, o de procesamiento, generando respuestas a preguntas complejas. La segunda tarea cognitiva más utilizada es el cálculo matemático, concretamente contar hacia atrás de tres en tres a partir de una cifra determinada de tres dígitos. Tal y como se muestra en la Tabla I.6, solamente tres de los autores introducen tareas motoras en la evaluación de marcha en condición de tarea dual. La tarea más empleada es trasladar vasos sobre una bandeja, lo que implica una habilidad postural adicional. La manipulación de objetos es la segunda tarea motora más empleada, en concreto la acción de cambiar monedas de un bolsillo a otro.

Si bien todos los autores incluyen una tarea secundaria para evaluar la marcha en condición de TD, solamente algunos autores evalúan el desempeño de la tarea secundaria en sí, ya sea de manera aislada (en posición sedente) o mientras acompaña la

marcha. La metodología varía en cada estudio y depende de la naturaleza de la tarea, lo cual implica que no existe una estandarización compartida en todos los estudios de cómo se deben evaluar las tareas añadidas. Por ejemplo, Fok *et al.* evalúan el desempeño de la tarea cognitivo-verbal a través de la tasa de enumeración precisa, es decir, nº de cifras correctas/tiempo de marcha sobre el pasillo instrumentado (f/s). Mirelman *et al.* utilizan como tarea motora secundaria pasar un obstáculo (caja) y lo evalúan con la longitud de paso realizada al pasar dicho obstáculo y con la efectividad con la que ejecuta la tarea, es decir, midiendo la distancia entre el talón y el objeto cuando el pie sobre pasa la caja y toca el suelo. Las tareas secundarias utilizadas en la evaluación, no necesariamente fueron incluidas en los distintos entrenamientos.

En relación con las variables estudiadas, todos los autores miden variables biomecánicas espacio-temporales, tal y como se muestra en la Tabla I.6. En ningún estudio se incluyen variables de movimiento (ángulos o aceleraciones) o variables de fuerza de reacción durante la marcha. En su mayoría, las variables estudiadas son: velocidad de marcha (m/s), longitud de paso y longitud de zancada (m), cadencia (pasos/min), tiempo de doble apoyo (s), tiempo de zancada o de oscilación (s). En algunos de los estudios se evalúa la variabilidad de marcha. Esta es una variable derivada de las que tienen medición directa (e.g longitud de paso) y puede ser calculada de diferentes formas.

Además de las variables biomecánicas mencionadas, los autores también incluyen variables clínicas derivadas de la evaluación con escalas y test clínicos (Tabla I.6), aunque estos no siempre fueron ejecutados en todos los tiempos de evaluación, limitándose solamente al periodo preintervención. En resumen, los instrumentos más utilizados para evaluar el desempeño físico y funcional son: parte motora de la escala UPDRS, test *Time Up and Go* y test de los 6 minutos. Por otra parte, los instrumentos más utilizados para evaluar el desempeño cognitivo son *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA) que provee de una medida general de la función cognitiva, *Frontal Assessment Battery* (FAB) y *Trail Making Test* (TMT) las cuales evalúan funciones ejecutivas y, test relacionados con la evaluación de las habilidades en tarea dual, *Strop colour-word interference test* (SCWI) y *Digit span test* (DST) (79). Por último, un aspecto de

evaluación que se ha incluido en algunos ensayos es la monitorización y evaluación de las caídas que sufrían los pacientes en el transcurso del estudio, preguntando directamente a los participantes por el número de caídas y por las consecuencias y circunstancias específicas de la caída (67).

Aunque las variables espaciotemporales son suficientes para comprobar la efectividad de las intervenciones en la marcha parkinsoniana, al no medir el movimiento articular durante el CM, no se puede comprobar que todos los aspectos de la marcha parkinsoniana mejoran con este tipo de rehabilitación. Una mejoría en el movimiento articular durante la marcha puede significar que la capacidad de otras formas de movilidad y transferencias en los pacientes también mejoren, por lo que sería una información valiosa de considerar. Por otra parte, prescindir de las medidas con test clínicos en algunos de los tiempos postintervención no permite comprobar si los cambios observados con instrumentos objetivos son suficientes para ser registrados con instrumentos que normalmente requieren un mayor tamaño del efecto.

Tabla I.5: Diseños y características de los participantes de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson

AUTOR Y AÑO	DISEÑO	TAMAÑO MUESTRAL	EDAD	GÉNERO	SEVERIDAD EP	ESTADO COGNITIVO
Strouwen <i>et al.</i> 2017	Ensayo clínico de series temporales, simple ciego. 2 grupos experimentales	n = 121 (GE ₁ : 65; GE ₂ : 56)	65,93 (9,22) (GE ₁ : 66,05 (9,30); GE ₂ : 65,80 (9,19))	H: 88; M:33 (GE ₁ : H49, M16; GE ₂ : H39, M17)	Estadio II y III H&Y	Mini Mental test >_24
Conradsson <i>et al.</i> 2015	Ensayo controlado aleatorizado, simple ciego	n = 91 (GE:47; GC:44)	GE:72,9 (6,0); GC: 73,6 (5,3)	GE: 28H, 19M; GC: 23H, 22M	Estadio II y III H&Y	Mini Mental Test > 24
Yogev - Seligmann <i>et al.</i> 2012	Medidas repetidas	n = 7 (GE:7)	63,8 (8,4)	H:7; M:0	Estadio II y III H&Y	Sin demencia según DSMMD
Fok <i>et al.</i> 2012	Ensayo controlado no aleatorizado (única sesión)	n = 12 (GE: 6; GC: 6) + 6 controles sanos.	GE: 73,0 (12,0); GC: 66,3 (11,7)	H: 12; M: 0	Estadio II y III H&Y	Mini Mental Test ≥ 24
Brauer <i>et al.</i> 2011	Ensayo controlado aleatorizado, simple ciego (en desarrollo)	n = 60 (GE: 30; GC: 30)	No publicado	No publicado	Estadio I-IV H&Y	Mini Mental Test ≥ 24
Mirelman <i>et al.</i> 2010	Medidas repetidas. Ensayo abierto (no hay ciegos)	n = 20 (GE: 20)	67,1 (6,5)	H: 14; M: 6	Estadio II y III H&Y	No demencia evaluada con MCA
Fok <i>et al.</i> 2010	Ensayo controlado de única sesión no aleatorizado (2 controles: sanos y con EP)	n = 12 (GE: 6; GC: 6)	GE:66,8 (9); GC:57,7 (12,3)	H: 2; M: 10	Estadio I - II - III H&Y	Test Mini Mental ≥24
Brauer <i>et al.</i> 2010	Ensayo clínico no controlado (test retest experimental design)	n=20 (GE:20)	GE:68,5 (11,3)	H: 12; M: 8	Estadio II y III H&Y	Test Mini Mental ≥24
Canning <i>et al.</i> 2008	Medidas repetidas	n=5 (GE:5)	GE: 61 (8)	H: 3; M: 2	Estadio II y III H&Y	Test Mini Mental ≥24

Se menciona el diseño de los estudios, el tamaño muestral (n), las edades de los grupos experimental (GE) y control (GC) de cada estudio, el recuento de hombres (H) y mujeres (M), la severidad de la enfermedad según estadio Hoehn y Yahr (H&Y) y el estado cognitivo de los participantes.

Tabla I.6: Metodología de valoración de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson

AUTOR Y AÑO	TIEMPOS DE VALORACIÓN	TAREA PRIMARIA	TAREA SECUNDARIA	VARIABLES BIOMECÁNICAS	VARIABLES CLÍNICAS
Strouwen <i>et al.</i> 2017	Basal 1 (6 semanas), basal 2, postrehabilitación, seguimiento (12 semanas).	Marcha a velocidad comfortable.	Tarea auditiva <i>Stroope</i> , Backwards <i>digit span</i> y <i>Mobile Phone Task</i> .	Velocidad, cadencia, longitud de zancada y variabilidad de marcha.	UPDRS-III, new FOGQ, escala ABC, ScopaCog, test ANT/AIT, PDQ-39
Conradsson <i>et al.</i> 2016	Pre y post entrenamiento	Marcha a velocidad comfortable.	Tarea verbal: recitar cada un segundo las letras del alfabeto sueco.	Velocidad, longitud de paso y cadencia. Pasos por día.	Mini-BESTest, MFE test, UPDRS-II, FES-I
Yogev-Seligmann <i>et al.</i> 2012	Basal, post entrenamiento (2-3 días) y retención (30 días)	Marcha a velocidad comfortable (evaluada al principio y de sesión).	Fluidez verbal: recordar palabras que comiencen por letra determinada; sustracción: serie de sustracciones en voz alta comenzando por un nº de 3 dígitos; y procesamiento: responder si o no rápidamente a problemas de aritmética (respuesta mayor o menor a 4); Tarea secundaria no entrenada: responder a preguntas complejas (cerradas o abiertas) que requieren un nivel de razonamiento.	Variabilidad (100 x DS / media) del tiempo de zancada y de oscilación. Velocidad (se utiliza tiempo medio en caminar 10 metros). Interferencia de la tarea secundaria: [(parámetro medido en tarea única - parámetro medido en doble tarea) / tarea única] x 100 %	Pruebas físicas: <i>Time up and go</i> , UPDRS-III. Pruebas cognitivas: MoCA, FAB y TMT.
Fok <i>et al.</i> 2012	Basal, post entrenamiento y retención (30 min.)	Marcha a velocidad comfortable o tarea cognitiva	Verbal-cognitiva (contar hacia atrás de 3 en 3, desde un nº aleatorio entre 150 y 450)	Velocidad y longitud de zancada.	UPDRS I-III, PDQ-39 C-M.
Brauer <i>et al.</i> 2011	Pre basal, basal, post entrenamiento y seguimiento (6 meses)	Marcha a velocidad comfortable.	Verbal (palabras con letra determinada) y Cognitiva (contar hacia atrás)	Longitud del paso, velocidad, cadencia, CV de longitud de paso, tiempo de doble apoyo	TUG, Test de 6-min., ActivPAL, EQ-5D, PDQ-39, UPDRS-III, FoG test, ASC test. Cognitivos: TMT A-B, SCWI test y DST.

Tabla I.6: Metodología de valoración de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson (continuación)

AUTOR Y AÑO	TIEMPOS DE VALORACIÓN	TAREA PRIMARIA	TAREA SECUNDARIA	VARIABLES BIOMECÁNICAS	VARIABLES CLÍNICAS
Mirelman <i>et al.</i> 2010	Basal, post entrenamiento y seguimiento (4 sem.)	Marcha vel. comfortable	Sustracción en serie de 3 y sortear obstáculos durante la marcha (caja de 50 x 30 x 40 cm y líneas de 50 x 40 cm).	Velocidad, Longitud y tiempo de zancada, variabilidad de la marcha. Costo de la tarea dual.	UPDRS-III, Test <i>Four Square Step</i> , PDQ-39. Test 6-min. Cognitivos: TMT (versión de color), MoCA.
Fok <i>et al.</i> 2010	Basal, post-entrenamiento, seguimiento (30 min.)	Marcha a velocidad comfortable	Verbal-cognitiva (contar hacia atrás de tres en tres en voz alta)	Velocidad, longitud de zancada	UPDRS-I-III, PDQ39_C/M, MMSE
Brauer <i>et al.</i> 2010	Basal y post entrenamiento.	Marcha a velocidad comfortable.	Motora-postural (llevar una bandeja con 4 vasos de vino), Motor-manipulación (transferir monedas entre bolsillos), cognitiva-verbal (decir tantas palabras como pueda con una letra), cognitiva-cálculo (contar hacia atrás de 3 en 3), cognitiva-auditiva (discriminar si un tono es alto o bajo) y visuoespacial (diferenciar el orden de nueve puntos en diferentes recuadros).	Longitud de paso y coeficiente de variación, velocidad, cadencia y tiempo de doble apoyo.	UPDRS-III, MMSE, Escala de diskinesia
Canning <i>et al.</i> 2008	Basal, post entrenamiento y seguimiento (3 semanas).	Marcha: 1) velocidad comfortable, 2) tan rápido como sea posible	Verbal (clasificar colores), Manual (trasladar vasos con agua). Se evalúa la marcha con cada una de las tareas mencionadas, así como bajo condiciones de triple tarea.	Velocidad, cadencia y longitud de zancada.	Percepción de fatiga, dificultad, ansiedad y confianza con Escala Visual Análoga

Se muestran los tiempos de evaluación de cada estudio, la descripción de la tarea primaria y secundaria evaluadas y las variables biomecánicas y clínicas registradas.

Características de la intervención

Dentro de los estudios revisados existe una gran variabilidad en el diseño de las intervenciones. En primer lugar, el espacio utilizado en la mayoría de estudios es un recinto hospitalario o las dependencias del grupo de investigación; solamente el estudio de Strouwen *et al.* realiza toda la etapa de rehabilitación en el domicilio de cada paciente. Por otra parte, Brauer *et al.* realiza una parte del tratamiento en el recinto hospitalario y otra en el hogar (79). Todos los estudios mencionan que las sesiones estuvieron asistidas por un fisioterapeuta, aunque algunos de los autores hacen una supervisión parcial cuando los pacientes desarrollan la terapia en el hogar (75,79). La dosificación experimental de la terapia difiere entre los estudios revisados. El tiempo de duración de cada sesión de rehabilitación varía entre 20 minutos y 1 hora, tal y como se muestra en la Tabla I.7. La frecuencia de las sesiones más utilizada es de 3 veces por semana, aunque el número de semanas varía en todos los estudios, utilizando 3 semanas, 4 semanas, 6 semanas y 10 semanas. Por otra parte, tres autores realizan una intervención de una única sesión que dura entre 20 y 30 minutos (80,81,84). El resto de estudios que realizan más de una sesión de rehabilitación emplean desde 30 a 60 minutos por sesión (Tabla I.7).

En relación al contenido de las sesiones de rehabilitación experimental, todos los estudios incluyen ejercicios bajo tareas duales de marcha con una tarea secundaria añadida. Dentro de las estrategias utilizadas para el entrenamiento con TD existen dos alternativas claramente definidas. En la primera, los entrenamientos consisten en comenzar con la práctica aislada de cada una de las tareas involucradas y, en la segunda, el entrenamiento solamente incluye la práctica simultánea de ambos componentes a desarrollar en la tarea dual. Cuando se lleva a cabo esta última modalidad, también existe la alternativa de solamente prestar atención a la marcha o dividir la atención en ambas tareas. En la mayoría de estudios se opta por una combinación de estrategias, entrenando primero cada tarea por separado, para luego ser practicadas conjuntamente. Los principales componentes de los entrenamientos en condiciones duales se muestran en la Tabla I.7 y son:

- Solamente uno de los estudios realiza dentro de cada sesión una primera parte de calentamiento que consiste en ejercicios variados de estimulación cardiovascular y finaliza con una fase de "vuelta a la calma" en la que se enseñan diferentes estiramientos y ejercicios respiratorios (76); el resto de investigaciones dedican la sesión íntegra a los ejercicios de marcha y de las tareas secundarias
- Cinco de las investigaciones revisadas mencionan que realizan un entrenamiento exclusivamente en condiciones duales, es decir, en todo momento de la sesión se practican ejercicios de marcha acompañados de otras tareas (75,76,79,82,85); sin embargo, Conradsson *et al.* mencionan que la integración de las tareas secundarias en el entrenamiento se lleva a cabo de manera progresiva
- Cuatro de las investigaciones revisadas realizan primero el entrenamiento de cada tarea por separado, para luego ponerlas en práctica de manera conjunta (80,81,83,84)
- En cinco estudios se hace referencia a la priorización de atención que debían mantener los pacientes cuando se desarrolla la tarea dual: en un estudio se entrena siempre priorizando la tarea primaria (marcha) (81), en otro estudio siempre se entrena bajo la instrucción de dividir la atención de manera equitativa entre las dos tareas (80) y en tres estudios se alterna la atención entre una y otra tarea o entre enfocarse en una de ellas o en ambas a la vez (79,82,84).

En relación con los componentes del entrenamiento de marcha (Tabla I.8), uno de los principales es la utilización de señales externas que permitan realizar ejercicios de marcha objetivos, tales como marcas en el suelo para realizar una longitud de paso concreta o señales como una instrucción verbal para ampliar la zancada (79–81,84). Además de esto, en la mayoría de estudios se da retroalimentación sobre el desempeño de la marcha. Los ejercicios más utilizados por los autores son:

- 1) Entrenamiento de longitud de paso, ya sea con una longitud objetiva determinada o bajo la instrucción de caminar con pasos amplios (67,80,81,84,85)
- 2) Énfasis en el contacto del talón durante el inicio del ciclo de marcha (67).
- 3) Balanceo de los brazos (67)
- 4) Ejercicios posturales favoreciendo la postura erguida durante el movimiento y ejercicios generadores de ajustes posturales anticipatorios: movimientos voluntarios de brazos/piernas/tronco y énfasis en la velocidad de movimiento y amplitud (67,76)
- 5) Amplitud del movimiento articular en las fases de la marcha (67) y agilidad motora: coordinación entre extremidades bajo variación de condiciones de marcha y cambios rápidos de movimiento característico durante condiciones predecibles e impredecibles (76)
- 6) Giros durante la marcha previsibles e imprevisibles (67,79,85)
- 7) Transiciones o cambios de posición
- 8) Marcha en diferentes direcciones, transición de inicio y detenimiento (67,76) y cambios de velocidad (79,85)
- 9) Marcha tándem o práctica repetida de caminar en línea recta (67,79)
- 10) Integración sensorial practicando marcha bajo distintas superficies que ofrezcan diferentes texturas (68,71)
- 11) Límites de estabilidad tareas de inclinación controlada en posición bípeda variando bases de soporte y estimulando cambios de peso en múltiples direcciones (68)
- 12) Sobre pasar obstáculos durante la marcha (79,85)
- 13) Marcha sobre *treadmill* con sistema de sujeción (83).

La progresión en la dificultad de los ejercicios de marcha fue especificada en detalle por tres de los autores y consistió en incluir cambios de velocidad, incrementar las demandas del ambiente (variación de superficies, utilización de espacios estrechos, inclusión de puertas en el trayecto de marcha entrenado y trabajo en espacios abiertos sin delimitar) (67), acortar los periodos de descanso (82,83) y añadir obstáculos.

En relación con las tareas secundarias utilizadas en el entrenamiento, en algunos de los ensayos las tareas secundarias utilizadas son la mismas que las tareas secundarias utilizadas en la evaluación (38,80,81,83). En los ensayos que no repiten las tareas en ambas fases, se utilizan una amplia variedad de tareas que abarcan distintas funciones cognitivas y motoras, las que se detallan en la Tabla I.8. Las tareas cognitivas más utilizadas son: 1) tareas de fluidez verbal, de conversación o de generación de respuestas; 2) tareas de discriminación y toma de decisiones; 3) tareas de memoria; 4) tareas de cálculo de sumas y restas; 5) tareas auditivas y; 6) planificación visuo-espacial. Las tareas motoras más frecuentes implican tareas funcionales como: 1) transportar plato/bandeja con vasos encima; 2) abotonar; 3) trasladar monedas entre bolsillos o trasladar objetos entre las manos; 4) cargar objetos.

Solamente uno de los estudios, durante el tiempo comprendido entre la evaluación post y de seguimiento, continua con una intervención en casa, en la cual los pacientes deben seguir ejercicios de marcha, equilibrio, fuerza muscular y ejercicios posturales. El paciente elige, de entre diversos ejercicios, completa un calendario de registro y una vez al mes recibe supervisión telefónica (79).

Los grupos controles en los ensayos clínicos revisados o bien hacían una terapia tradicional o no hacían ningún tipo de terapia (Tabla I.7). En el estudio desarrollado por Strouwen *et al.* no existe un grupo control propiamente dicho, ya que el segundo grupo del estudio practica los componentes de las TD del grupo experimental, pero nunca en condición de doble tarea, sino de manera aislada. Además, los autores señalan que se incluyeron ejercicios funcionales intentando evitar las dobles tareas, lo que sugiere que la actividad de dividir la atención entre dos actividades diferentes no siempre se haya podido evitar. Por otra parte, el grupo control del estudio de Conradsson *et al.*, si bien no

entrega una rehabilitación tradicional a su grupo control, no restringe la participación en otras terapias físicas, con la condición de que éstas no intervinieran en la marcha. Los otros autores que especifican la rehabilitación recibida por el grupo control son Brauer *et al.* 2011 los cuales aplican un programa de tareas únicas en sesiones individuales con el objetivo de mejorar parámetros de la marcha. El resto de los grupos controles no realizan ningún tipo de terapia (80–82).

Aún existe mucha heterogeneidad entre los protocolos de rehabilitación con TD. Principalmente, la falta de utilización de métodos objetivos de retroalimentación en el desempeño de los ejercicios de marcha puede impedir que se alcance todo el potencial de los pacientes en el ejercicio, tanto en TS como en TD. Otro punto importante que no fue detallado por los autores con suficiente profundidad es el número de sujetos por sesión de rehabilitación. Además de introducir nuevas estrategias a la rehabilitación física, éstas deben ser factibles de ser realizadas en la práctica clínica diaria, por lo que es importante considerar técnicas que permitan la rehabilitación grupal. Por otra parte, el entrenamiento en domicilio limita el espacio y el contexto de la rehabilitación a solamente un aspecto de la vida de los pacientes, dejando fuera los ambientes más estresantes como la calle o espacios donde hay más gente alrededor.

Tabla I.7: Características generales de la intervención de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson

AUTOR Y AÑO	TIEMPO Y FRECUENCIA	ESPACIO	TRATAMIENTO DUAL	TRATAMIENTO CONTROL
Strouwen <i>et al.</i> 2017	Ambos grupos: 4 sesiones por semana: 2 con supervisión (30' de entrenamiento de marcha y ejercicios cognitivos, más 10' de práctica funcional) y 2 sin supervisión (30' de marcha y ejercicios mentales con dispositivo MP3); durante 6 semanas.	En hogar del paciente. Supervisado por un fisioterapeuta.	Entrenamiento de marcha mientras se desarrollan ejercicios cognitivos. Entrenamiento funcional de tareas duales habituales en las actividades de la vida diaria (divididas en componentes separados).	(Grupo experimental 2) Entrenamiento cognitivo sentado. Ejercicios de marcha sin una carga cognitiva extra. Entrenamiento funcional consecutivo evitando tareas duales.
Conradsson <i>et al.</i> 2016	Grupo experimental: 3 veces por semana, 60 min por sesión, durante 10 semanas.	En hospital, supervisado por 2 fisioterapeutas	Cinco minutos de calentamiento: tareas de marcha variada para aumentar el funcionamiento cardiovascular. Cincuenta minutos de ejercicios de marcha y equilibrio con inclusión progresiva de tareas duales hasta multi tareas (cognitivas y motoras). Cinco minutos de vuelta la calma: marcha lenta, estiramientos y ejercicios respiratorios.	Se mantienen actividades físicas y cuidados médicos habituales. No se restringe participación a programas de rehabilitación en curso. Al acabar el estudio, se ofreció el programa experimental a grupo control.
Yogev-Seligmann <i>et al.</i> 2012	Grupo experimental (único): 12 sesiones de entrenamiento, 3 veces por semana, durante 4 semanas.		Son objetivos el entrenamiento de marcha y el cognitivo. La sesión se divide en 5 bloques de entrenamiento dual de 5 min cada uno. En cada bloque, los sujetos desarrollaron tres tareas cognitivas en orden aleatorio al mismo tiempo de la marcha: fluidez verbal, serie de subtracciones y procesamiento de información. Se alternó la priorización de ambas tareas (cognitiva o marcha). Las tareas cognitivas se grabaron en MP3 para promover la estandarización y dar retroalimentación del desempeño cognitivo. La retroalimentación de la marcha consistió en informar sobre la longitud de paso y del balanceo de los brazos.	Sin grupo control.

Tabla I.7: Características generales de la intervención de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson (continuación)

AUTOR Y AÑO	TIEMPO Y FRECUENCIA	ESPACIO	TRATAMIENTO DUAL	TRATAMIENTO CONTROL
Fok <i>et al.</i> 2012	Única sesión de 30 minutos.	Laboratorio de evaluación. No menciona la supervisión de la sesión.	El entrenamiento de marcha con tareas duales usa una estrategia de dividir la atención entre las dos tareas. La sesión se divide en dos segmentos. 1) práctica de marcha únicamente, con el objetivo de mejorar la longitud de paso. 2) práctica de marcha en pasillo de 12 m mientras se desarrolla una tarea de substracción. Las instrucciones dadas fueron: “caminar hasta el final del pasillo con pasos grandes y contando hacia atrás de tres en tres. Debe enfocarse en ambas tareas por igual”. No se indican tiempos de cada subparte.	Grupo control sin tratamiento. Durante la sesión debe permanecer sentado leyendo.
Brauer <i>et al.</i> 2011	Programa intrahospitalario de grupo control y experimental: 12 sesiones de 40-60 minutos, 3 veces por semana durante 4 semanas. Programa en el hogar: se integran sesiones en el hogar a partir de la semana 2 del tratamiento y se desarrolla durante el periodo de seguimiento (6 meses).	Recinto hospitalario con supervisión de un fisioterapeuta. Programa en el hogar sin supervisión.	Programa Dual Task: sesiones individuales. Tareas duales con objetivo de mejorar la longitud de paso. Se utilizan señales externas verbales, visuales y auditivas, progresando a señales internas. Se varía el enfoque de la atención en cada repetición: dividir la atención, enfocar atención solamente a tarea de marcha o, enfocar atención solamente en tarea cognitiva.	Programa Single Task: sesiones individuales. Tareas únicas con objetivo de mejorar longitud de paso. Se utiliza una guía semanal para progresión del ejercicio. Se utilizan señales externas para mejorar la longitud de paso: verbales, visuales y auditivas. La atención se centra únicamente en la tarea de marcha.
Mirelman <i>et al.</i> 2010	Tres sesiones por semana durante 6 semanas. Cada sesión duró aproximadamente 45 minutos + 5 minutos de calentamiento.	Sin especificación. El tipo de intervención sugiere que fue en laboratorio y con supervisión.	Se desarrolla un programa de simulación en realidad virtual en donde los participantes realizan procesamiento de múltiples estímulos simultáneos y desafíos que les obliga a tomar decisiones sobre cómo resolver un obstáculo en dos planos, al mismo tiempo que caminan sobre un treadmill.	Sin grupo control.

Tabla I.7: Características generales de la intervención de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson (continuación)

AUTOR Y AÑO	TIEMPO Y FRECUENCIA	ESPACIO	TRATAMIENTO DUAL	TRATAMIENTO CONTROL
Fok <i>et al.</i> 2010	Grupo experimental: una sola sesión de 30 minutos.	En laboratorio de investigación con supervisión.	El Entrenamiento de marcha con tareas duales usa como estrategia la priorización de la marcha por sobre la tarea secundaria. La sesión se divide en dos segmentos: 1) entrenamiento de marcha con una distancia de paso objetivo sobre el suelo y 2) entrenamiento bajo tareas duales sobre pasillo instrumentado con la siguiente instrucción: “caminar hasta el final del pasillo con pasos grandes y contando hacia atrás de tres en tres, debe enfocarse 100% en dar pasos grandes”.	El grupo control de pacientes con EP no realiza ningún tipo de intervención. Durante los minutos de entrenamiento del grupo experimental debe permanecer sentado leyendo.
Brauer <i>et al.</i> 2010	Grupo experimental: sesión única de 20 minutos.	En laboratorio de investigación	Objetivo de mejorar la longitud de paso mientras se desarrollan al mismo tiempo tareas cognitivas de memoria y lenguaje y de cálculo. Primero se entrena la longitud de paso bajo tarea única para luego ser practicada en condiciones duales. La atención de los pacientes se va alternando entre la marcha y la tarea cognitiva de manera aleatorizada.	Sin grupo control.
Canning <i>et al.</i> 2008	Grupo experimental: una sesión de 30 minutos por semana, durante tres semanas.	El recinto hospitalario supervisado por fisioterapeuta.	Entrenamiento de la velocidad y la longitud de paso. Los sujetos entrenaron marcha junto a tareas manuales y cognitivas (dual task) y bajo condiciones de triple tarea. No se menciona entrenamiento de solo marcha. Las tareas secundarias del entrenamiento son diferentes a las de la evaluación.	Sin grupo control.

Se muestran las características generales de los programas de intervención de los diferentes estudios, incluyendo tiempo y frecuencia de rehabilitación, espacio utilizado para las sesiones, descripción del tratamiento experimental (dual) y descripción del tratamiento control en los ensayos que se incluía.

Tabla I.8: Especificaciones de los ejercicios de marcha y tareas secundarias de las intervenciones de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson

AUTOR Y AÑO	EJERCICIOS DE MARCHA	EJERCICIOS SECUNDARIOS	PROGRESIÓN
Strouwen <i>et al.</i> 2017	1. Pasos amplios, 2. contacto de talón, 3. balanceo de los brazos, 4. postura erguida, 5. levantamiento de rodillas, 6. marcha tándem, 7. giros, 8. transiciones de sedente a bípedo y de inicio y detenimiento de la marcha, 9. marcha en diferentes direcciones.	1. Tareas de fluidez verbal, 2. Tareas de discriminación y toma de decisiones, 3. Tareas de memoria, 4. Tareas de seguimiento mental, 5. Tareas de sumas y restas, 6. Ejercicios cognitivos realizados por el fisioterapeuta utilizando un ordenador portátil, 7.	Marcha: aumento de la velocidad, incremento de la amplitud de paso, introduciendo variaciones de velocidad, incrementando las demandas del ambiente (superficies, espacios estrechos, incluyendo puertas y trabajando en espacios abiertos). Cognitivo: categorías más difíciles, tiempo de respuesta más corto.
Conradsson <i>et al.</i> 2016	1. Integración sensorial: marcha en superficies variadas con/sin restricciones visuales (gafas), 2. ajustes posturales anticipatorios: movimientos voluntarios de brazos, piernas y tronco, transiciones, marcha en múltiples direcciones, cambio de velocidad de movimiento y amplitud, 3. agilidad motora: coordinación extremidades en diferentes condiciones de marcha (predecibles e impredecibles); 4. límites de estabilidad: tareas de inclinación controlada en posición bípeda variando bases de soporte y estimulando cambios de peso en múltiples direcciones.	1. Tareas cognitivas: contar, recordar ítems / números. 2. Tareas motoras: transporte / manipulación de objetos.	Se divide el tratamiento en 3 bloques. Bloque A: semana 1 y 2, los ejercicios de marcha y equilibrio se realizan en componentes separados sin tareas duales; Bloque B: semana 3 - 5, ejercicios duales básicos en un 40% de la sesión con tareas secundarias cognitivas o motoras, el nivel de dificultad para cada componente de marcha y equilibrio se incrementó con respecto al bloque A. Bloque C: semanas 6-10, incremento de la dificultad combinando varios componentes de los ejercicios de marcha y equilibrio así como la complejidad de éstos, se emplea 60% de la sesión en ejercicios duales con tareas secundarias motoras y cognitivas al mismo tiempo (multi-tarea).
Yogev-Seligmann <i>et al.</i> 2012	No especificado	Mismas tareas cognitivas que las utilizadas durante la evaluación: fluidez verbal, serie de tres substracciones y procesamiento de información.	Se incluyen 3 medidas para establecer progresión: 1. Acortar los periodos de descanso de 5' (1ª semana) a 2' (2ª semana) a 1' (3ª semana) y a sin descansos (4ª semana); 2. Adición de obstáculos en la 2ª semana: 5 cajas fueron ubicadas cada 60 cm en el primer tercio del pasillo y 3. Cambiando la serie de substracciones de 3 a 7 en la 3ª semana.

Tabla I.8: Especificaciones de los ejercicios de marcha y tareas secundarias de las intervenciones de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson (continuación)

AUTOR Y AÑO	EJERCICIOS DE MARCHA	EJERCICIOS SECUNDARIOS	PROGRESIÓN
Fok <i>et al.</i> 2012	Se marcha en un pasillo con longitudes de paso espontánea, para luego entrenar la marcha obligándose a sobre pasar una marca en el suelo.	La tarea es la misma que en evaluación: cognitiva de substracción se realiza acompañada de marcha. Las instrucciones dadas fueron estandarizadas.	No existe progresión (sesión única).
Brauer <i>et al.</i> 2011	Práctica repetida de caminar en una línea recta, giros, sobrepasar obstáculos y, ejecutar tareas desafiantes de marcha como incrementar la velocidad y alterar las superficies del suelo.	Cognitivas y motoras: auditivas, verbales, de conversación, generación de listas simples y complejas, lenguaje, cálculo y tareas motoras de carga y manipulación. Se utilizan tareas de la vida diaria: cargar bolsos, sacar llaves de un bolsillo, contar monedas, nombrar direcciones o hacer una lista de la compra. Se utilizan tareas cognitivas complejas: planificación visuo-espacial (decir cómo llegar a la recepción), respuesta inhibida (decir algo sin una palabra específica), combinación de lenguaje y cálculo (correlacionar día del mes con día de la semana).	Sin especificación. Se menciona que se realiza una progresión de complejidad en los ejercicios y en relación a las tareas cognitivas, la complejidad se fue incrementando en función de la interferencia provocada por la tarea secundaria en la marcha (de menos a más), plasmada en una guía de progresión semanal individual.
Mirelman <i>et al.</i> 2010	Calentamiento inicial de 5 minutos: marcha sobre treadmill (únicamente). En la sesión solamente se realiza marcha sobre treadmill atendiendo a las demandas del programa de realidad virtual. No se especifican otros ejercicios de marcha. El entrenamiento de marcha se realizó con arnés de sujeción sin disminución del peso corporal para prevenir caídas sobre el treadmill.	El programa de realidad virtual incluye como elemento de carga cognitiva la realización de una segunda tarea motora: sortear obstáculo. Se manipularon elementos como: cambios en la iluminación, movimiento de los objetos diferentes al obstáculo, así como velocidad, orientación, tamaño y frecuencia de aparición del obstáculo virtual.	Ajuste de la velocidad de marcha sobre treadmill durante las semanas 4, 5 y 6, con aumento del 10% en cada sesión con respecto a la velocidad medida justo antes de empezar sobre un pasillo de 10 m. También se aumentó el tiempo de marcha en cada sesión y disminuyó el tiempo de descanso (sin especificaciones). La progresión de la tarea secundaria (obstáculo virtual) se basó en el desempeño de cada paciente, si éste era capaz de sortear todos los obstáculos con éxito, se aumentaba la dificultad.

Tabla I.8: Especificaciones de los ejercicios de marcha y tareas secundarias de las intervenciones de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson (continuación)

AUTOR Y AÑO	EJERCICIOS DE MARCHA	EJERCICIOS SECUNDARIOS	PROGRESIÓN
Fok <i>et al.</i> 2010	Marcha en TS: Se marcan en el suelo la longitud de zancada a alcanzar con señales blancas perpendiculares a la dirección de marcha en una longitud de 5 m. Marcha en TD: caminar sobre el pasillo instrumentando de 12 m, se da la instrucción de "caminar con pasos amplios" mientras se desarrolla la tarea cognitiva enfocándose 100% en los pasos.	La tarea secundaria del entrenamiento es la misma tarea cognitiva que se utiliza en la evaluación: contar hacia atrás de tres en tres a partir de un nº de tres cifras a partir de una selección de 40 cifras entre 150 y 450.	No existe progresión (sesión única).
Brauer <i>et al.</i> 2010	Solamente se trabaja la longitud de paso utilizando señales externas verbales (instrucción de fisioterapeuta de "paso largo") bajo tarea única de marcha.	Tarea de memoria y lenguaje: asociación y generación de palabras. Tarea de cálculo y respuesta verbal: contar hacia adelante o hacia atrás, de 2 en 2 o de 5 en 5.	Dentro de la sesión se establece progresión de dificultad comenzando el entrenamiento dual con la tarea secundaria que menos interferencia provoca en la marcha (según evaluación inicial). Esto fue personalizado para cada paciente. Al final de la sesión se vuelven a entrenar con ambas tareas cognitivas.
Canning <i>et al.</i> 2008	Se trabaja la velocidad y longitud de paso en un bajo la instrucción de caminar "tan rápido como sea posible y con pasos grandes". 1ª sesión: 30 repeticiones de marcha en un pasillo de 10 metros (10 repeticiones con cada tarea adicional). Sesiones 2ª y 3ª: se utiliza un pasillo en exterior de 40 metros que incluía sortear objetos y giros, se aumentan las repeticiones de marcha en 2 en cada sesión. Se daba retroalimentación del desempeño de la marcha.	Las tareas secundarias se cambiaron en cada sesión. Cognitivas: contar hacia atrás de 2 en 2 y e 3 en 3, memoria, generar listas de categorías (frutas, deportes, palabras que comienzan con una letra, calles, ciudades capitales) y tareas aritméticas simples. Motoras funcionales: abotonar, llevar un plato con un vaso encima y trasladar monedas entre bolsillos o trasladar objetos entre las manos.	Solamente se referencia la progresión de tareas secundarias, las cuales se incrementaron sistemáticamente por el entrenador a medida que mejoraba el rendimiento de los pacientes.

Se muestran las características específicas de los ejercicios de marcha de los diferentes estudios, los ejercicios empleados como tareas secundarias y la progresión establecida.

Efectos de las intervenciones revisadas

Para simplificar la información de los resultados se han desglosado en la Tabla I.9 los efectos principales de los factores o variables independientes de cada estudio y los valores medios informados por los autores en cada tiempo y condición de valoración. En este apartado se presentan los hallazgos de los estudios de manera separada para los ensayos con grupo control y para los ensayos de medidas repetidas. Tres de estos estudios muestran que la rehabilitación con tareas duales tiene un efecto estadísticamente significativo y positivo en las variables biomecánicas estudiadas que se diferencia del grupo control (efecto de interacción de factores tiempo de evaluación x grupo $p < 0,05$) (76,80,80). En uno de estos estudios señalados, este efecto fue diferente según el tipo de tarea realizada (81), lo cual significa que en el grupo entrenado hubo una menor interferencia de la tarea dual que en el grupo control. Las variables en las que se observó el efecto de esta interacción fueron la velocidad de marcha y la longitud de zancada durante condiciones de tarea única (76,81) y de doble tarea (80).

En el estudio de Strouwen *et al.*, en el que se probaban dos alternativas de tratamiento relacionadas con las tareas duales, no hubo una interacción significativa de la rehabilitación y grupo, con lo que ambas estrategias pueden considerarse útiles. En este estudio, la velocidad mejoró de manera significativa gracias a ambas intervenciones, tanto en tareas duales como en la tarea de marcha sin tareas secundarias.

Por otra parte, en los estudios clínicos de medidas repetidas, la velocidad mejoró tras todos las intervenciones descritas en ambos tipos de condiciones de marcha (marcha simple y dual) (38,83–85). La longitud de zancada tuvo este mismo resultado en tres ensayos clínicos (83–85), igual que la variabilidad de zancada, que se observó disminuida tras la intervención planteada en la investigación de Yogev-Seligman *et al.* en condición de doble tarea. En los ensayos que informaron sobre la cadencia, solamente un autor encontró una mejora significativa tras la intervención (85), mientras que en la variable tiempo de doble apoyo no se hallaron diferencias significativas tras la intervención planteada en el único estudio que la estudia (84). En relación con los

valores medios de cada parámetro mencionado anteriormente, pueden consultarse en la Tabla I.9.

Los estudios que evaluaron el desempeño de la tarea secundaria cognitiva en condición de tarea única encuentran un mejor desempeño de esta tras una intervención con tareas duales. Strouwen *et al.* señalan que esta mejoría observada en el post entrenamiento y en la evaluación de seguimiento solamente se evidencia en tareas cognitivas de tipo auditiva, tanto cuando se evalúa con marcha como tarea individual. Sin embargo, otras tareas cognitivas como de cálculo o motora no muestran mejoría. Por otra parte, Conradsson *et al.* informa de una mejoría en todas las tareas cognitivas evaluadas, tanto en condiciones duales como desarrolladas en condición de tarea única cuando se compara con un grupo control. Sin embargo, el desempeño de las tareas cognitivas es igual para ambos grupos cuando se realizan en posición sentado. Por el contrario, Yoveg-Seligman *et al.* no observaron cambios en el desempeño de la tarea cognitiva añadida tras el entrenamiento.

Por último, de los estudios que evaluaron actividades de la vida diaria en todos los tiempos de evaluación, solamente uno de ellos informa que, sobre la escala UPDRS-ADL, hay un efecto estadísticamente significativo de la rehabilitación que es diferente para ambos grupos, encontrando una mejora en las actividades de la vida diaria en el grupo experimental ausente en el grupo control (76).

A lo largo del capítulo introductorio, se ha demostrado la relevancia clínica de la rehabilitación de la marcha en personas con EP, además de la importancia que tiene contextualizar la fisioterapia en condiciones funcionales. La forma de entrenar los patrones de marcha en contextos de la vida diaria, es bajo tareas duales, donde los pacientes, además de caminar, deben ejecutar una tarea secundaria.

Hasta donde sabemos, solamente 8 de 9 ensayos clínicos han comprobado cómo el entrenamiento con tareas duales repercute en la biomecánica de la marcha durante condiciones de TS y TD (75,76,80–85). Si bien los diferentes autores demuestran mejorías de diferentes magnitudes, solamente se analizan variables espacio-temporales

sin considerar variables de movimiento angular. Además, la utilización de grupos controles solamente se limita a pacientes con EP que no realizan tratamiento o, si lo hacen, incluyen tareas cognitivas en condición de TS. Es por esto, que consideramos necesario desarrollar un programa de rehabilitación de marcha con tareas duales, que sea contrastado con un programa de rehabilitación física tradicional o habitual de los trastornos motores de la enfermedad de Parkinson. En el contexto clínico, los fisioterapeutas no suelen incluir ejercicios cognitivos en la rehabilitación motora, por lo que esta área de investigación puede aportar una nueva herramienta de rehabilitación a los profesionales fisioterapeutas.

Tabla I.9: Efectos de las intervenciones de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson

AUTOR Y AÑO	EFFECTO DE LOS FACTORES	RESULTADOS VARIABLES BIOMECÁNICAS
Strouwen <i>et al.</i> 2017	No existe interacción del factor tiempo y del factor grupo indicando que ambas estrategias de entrenamiento son similares. El factor tiempo tiene un efecto significativo en ambos grupos en condiciones de doble tarea y única, lo que indica que ambos han mejorado la velocidad.	Velocidad en condiciones de tarea única y dual mejora significativamente tras intervención, manteniendo mejoría en el seguimiento. Velocidad (total) durante tarea <i>Stroop</i> : pre basal 0,91; basal 0,94; post 1,04; seguimiento 1,01. Velocidad (total) durante tarea <i>mobile phone</i> : pre basal 0,79; basal 0,82; post 0,88; seguimiento 0,89. Velocidad (total) durante tarea entrenada <i>digit span</i> : pre basal 0,90; basal 0,93; post 1,02; seguimiento 1,01.
Conradsson <i>et al.</i> 2016	Existe interacción del factor tiempo y grupo para las variables velocidad y longitud de paso en condición de tarea única y para la escala Mini BESTest, representando una mejoría en el tiempo para el grupo experimental. No hay efecto de la interacción para las variables biomecánicas en tareas duales, ni del tiempo.	Velocidad tarea única: experimental pre 1,19, post 1,28; control pre 1,16, post 1,17 / tarea dual: experimental pre 0,98, post 1,07; control pre 0,90, post 0,96. Longitud de paso tarea única: experimental pre 0,63, post 0,67; control pre y post 0,62 / tarea dual: experimental pre 0,59, post 0,63; control pre 0,56, post 0,58. Cadencia tarea única: experimental pre 113, post 115; control pre y post 113 / tarea dual: experimental pre 100, post 103; control pre 97, post 99.
Yogev-Seligmann <i>et al.</i> 2012	El factor tiempo tuvo efecto significativo sobre la velocidad en todas las tareas duales y en la tarea única solamente se observó una mejora en el seguimiento. Variabilidad del tiempo de zancada se mostró una disminución significativa en todas las tareas duales, pero no en la tarea de marcha sin tareas secundarias. Las mejoras en ambas variables se mantuvieron en el seguimiento.	Velocidad tarea única: pre 1,22; post 1,34; seguimiento 1,37 / con tarea verbal: pre 0,97; post 1,18; seguimiento 1,24 / con tarea sustracción: pre 0,97; post 1,22; seguimiento 1,26 / con tarea procesamiento: pre 0,97; post 1,25; seguimiento 1,29 / tarea no entrenada de preguntas abiertas: pre 0,99; post 1,17; seguimiento 1,22. Variabilidad tiempo de zancada tarea única: pre 2; post 1,87; seguimiento 1,72 / con tarea verbal: pre 2,67; post 1,98; seguimiento 2,15 / con tarea sustracción: pre 3,14; post 2,31; seguimiento 1,90 / con tarea procesamiento: pre 2,76; post 1,81; seguimiento 1,73 / tarea no entrenada de preguntas abiertas: pre 2,97; post 2,20; seguimiento 1,81.
Fok <i>et al.</i> 2012	En evaluación pre: hubo un efecto significativo del factor <i>tarea</i> en la longitud de zancada y la velocidad ($p < 0,05$), disminuyendo en tarea dual (matemática). No hay un efecto significativo de la interacción <i>tiempo x tarea x grupo</i> , pero sí de la interacción <i>tiempo x grupo</i> en la longitud de zancada y la velocidad. Los pacientes del grupo experimental caminaron con más velocidad y pasos más largos que los controles después del entrenamiento indistintamente de la condición evaluada. No se encontraron diferencias significativas en el grupo control tras el entrenamiento.	Velocidad tarea única: experimental pre 1,16, post 1,24, seguimiento 1,24; control pre 1,20, post 1,19, seguimiento 1,24. Velocidad tarea dual: experimental pre 0,98, post 1,13, seguimiento 1,08; control pre 0,94, post 0,95, seguimiento 0,99. Longitud de zancada tarea única: experimental pre 1,26; post 1,39; seguimiento 1,38 / control pre 1,33; post 1,33; seguimiento 1,35. Longitud de zancada tarea dual: experimental pre 1,13; post 1,30; seguimiento 1,26 / control pre 1,21; post 1,22; seguimiento 1,23.

Tabla 1.9: Efectos de las intervenciones de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson (continuación)

AUTOR	EFECTO DE LOS FACTORES	RESULTADOS VARIABLES BIOMECÁNICAS
Brauer <i>et al.</i> 2011	NO PUBLICADO	
Mirelman <i>et al.</i> 2010	Existe un efecto significativo del entrenamiento durante la marcha en tarea única sobre la velocidad, longitud y tiempo de zancada que se mantiene en el seguimiento; al igual que en condiciones duales (tarea matemática y de negociación).	<p>Velocidad en tarea única: pre 1,16; post 1,26; seguimiento 1,28 / tarea dual matemática: pre 1,01; post 1,17; seguimiento 1,13 / tarea dual de negociación de obstáculo: pre 0,96; post 1,17; seguimiento 1,17 / tarea de resistencia: pre 1,01; post 1,16; seguimiento 1,13.</p> <p>Longitud de zancada tarea única: pre 1,23; post 1,29; seguimiento 1,33 / tarea dual matemática: pre 1,13; post 1,21; seguimiento 1,26 / tarea dual de negociación de obstáculo: pre 1,47; post 1,60; seguimiento 1,61.</p> <p>Tiempo de zancada en tarea única: pre 1,08; post 1,04; seguimiento 1,04 / tarea dual matemática: pre 1,15; post 1,10; seguimiento 1,08 / tarea dual de negociación de obstáculo: pre 1,10; post 1,05; seguimiento 1,06 / tarea de resistencia: pre 1,13; post 1,04; seguimiento 1,06.</p>
Fok <i>et al.</i> 2010	En evaluación pre: hubo un efecto significativo del factor <i>task</i> en la longitud de zancada y la velocidad ($p < 0,05$), disminuyendo en condición de tarea dual (matemática). Hubo un efecto significativo de la interacción <i>time x task x group</i> en la longitud de zancada y la velocidad. Los pacientes del grupo experimental caminaron con más velocidad y pasos más largos que los controles después del entrenamiento. No se encontraron diferencias significativas en el grupo control tras el entrenamiento.	<p>Velocidad tarea única: experimental pre 0,91; post 1,08; seguimiento 1,07 / control pre 1,11; post 1,13; seguimiento 1,16. Velocidad tarea dual: experimental pre 0,68; post 1,05; seguimiento 0,99 / control pre 0,97; post 1,02; seguimiento 1,03.</p> <p>Longitud de zancada tarea única: experimental pre 1,01; post 1,19; seguimiento 1,16 / control pre 1,19; post 1,22; seguimiento 1,23. Longitud de zancada tarea dual: experimental pre 0,82; post 1,18; seguimiento 1,09 / control pre 1,15; post 1,17; seguimiento 1,17.</p>
Brauer <i>et al.</i> 2010	En la evaluación pre: pacientes camina con pasos significativamente más cortos en las tareas duales motora (bandeja y monedas), verbal y matemática ($p < 0,05$); encontrándose una interferencia en la marcha similar entre las tareas duales mencionadas. Se encontró que la tarea auditiva tenía menos interferencia en la marcha, seguida por la tarea visual.	<p>Velocidad tarea única: pre 1,04; post 1,18 / tarea motora bandeja: pre 0,97; post 1,00 / tarea motora monedas: pre 0,91; post 0,98 / tarea verbal: pre 0,92; post 1,03 / tarea matemática: pre 0,96; post 1,04 / tarea auditiva: pre 1,12; post 1,17 / tarea visual: pre 1,02; post 1,08.</p> <p>Longitud de paso tarea única: pre 0,58; post 0,65 / tarea motora bandeja: pre 0,53; post 0,56 / tarea motora monedas: pre 0,51; post 0,59 / tarea verbal: pre 0,54; post 0,59 / tarea matemática: pre 0,55; post 0,60 / tarea auditiva: pre 0,59; post 0,62 / tarea visual: pre 0,55; post 0,60.</p>

Tabla I.9: Efectos de las intervenciones de los estudios previos en rehabilitación de marcha con tareas duales en la enfermedad de Parkinson (continuación)

AUTOR	EFEECTO DE LOS FACTORES	RESULTADOS VARIABLES BIOMECÁNICAS
Brauer <i>et al.</i> 2010	Se encontró un efecto significativo y positivo del <i>entrenamiento x tarea</i> en las variables velocidad (en tarea única y dual verbal, auditiva y visual) y en la longitud de paso (en tarea única y duales, excepto en motora bandeja). En la variabilidad de paso se encontró un efecto solamente del entrenamiento (indistintamente de las condiciones). En la cadencia y el tiempo de doble apoyo no se observó un efecto del entrenamiento.	Tiempo de doble apoyo tarea única: pre 0,31; post 0,29 / tarea motora bandeja: pre 0,36; post 0,34 / tarea motora monedas: pre 0,36; post 0,36 / tarea verbal: pre 0,34; post 0,32 / tarea matemática: pre 0,33; post 0,32 / tarea auditiva: pre 0,30; post 0,29 / tarea visual: pre 0,32; post 0,31. Cadencia tarea única: pre 106,5; post 108,9 / tarea motora bandeja: pre 107,2; post 105,6 / tarea motora monedas: pre 103,4; post 106 / tarea verbal: pre 102,1; post 104,8 / tarea matemática: pre 103,1; post 104,1 / tarea auditiva: pre 108,0; post 111,7 / tarea visual: pre 108,8; post 108,5.
Canning <i>et al.</i> 2008	Se calcula el tamaño del efecto a partir de las medias. Las mejoras en las variables velocidad, longitud de zancada y cadencia alcanzadas tras el entrenamiento se mantienen en la evaluación de seguimiento.	No se informan los valores en las condiciones de tarea única y en tarea dual (cognitiva y motora). Velocidad en tarea múltiple: a velocidad confortable: pre 1,31; post 1,39; seguimiento 1,41 / a velocidad rápida: pre 1,63; post 1,73; seguimiento 1,72. Longitud de zancada en tarea múltiple: a velocidad confortable: pre 1,36; post 1,39; seguimiento 1,40 / a velocidad rápida: pre 1,51; post 1,55; seguimiento 1,54. Cadencia en tarea múltiple: a velocidad confortable: pre 116; post 120; seguimiento 121 / a velocidad rápida: pre 130; post 134; seguimiento 134.

Se resume el resultado del análisis estadístico realizado en cada estudio. Se muestra, además, el desempeño de los grupos de participantes informado por los autores en las variables biomecánicas estudiadas en cada tiempo de evaluación.

Capítulo II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

II.1 Hipótesis de la investigación

Nuestra principal hipótesis es que el entrenamiento de la marcha bajo condiciones duales tiene un efecto mayor que los programas de fisioterapia motores tradicionales, sobre la marcha parkinsoniana. Para comprobar la veracidad de nuestra hipótesis se plantean una serie de objetivos.

II.2 Objetivo general

Comprobar si el entrenamiento de la marcha en condiciones duales tiene un efecto superior que el entrenamiento motor sin tareas secundarias sobre la biomecánica de la marcha de personas con EP.

II.3 Objetivos específicos

1. Analizar la interferencia de tareas secundarias cognitivas y motoras en la biomecánica de la marcha de las personas con enfermedad de Parkinson en condiciones basales.
2. Estudiar la interferencia de tareas secundarias cognitivas y motoras en la biomecánica de la marcha de las personas mayores sanas.
3. Contrastar el patrón de marcha parkinsoniano con el de personas mayores sanas durante la ejecución de tareas simples y duales en condiciones basales.
4. Medir los efectos de un programa de rehabilitación de marcha con tareas duales en la biomecánica de la marcha parkinsoniana.
5. Comparar los efectos de un programa de rehabilitación de marcha con tareas duales con los del programa de fisioterapia habitual sobre la biomecánica de la marcha parkinsoniana.
6. Contrastar el patrón de marcha de personas con enfermedad de Parkinson, tras realizar un programa de rehabilitación con tareas duales, con el de personas mayores sanas durante la ejecución de tareas simples y duales.

7. Analizar la interferencia de tareas secundarias cognitivas y motoras en la biomecánica de la marcha de las personas con enfermedad de Parkinson, tras cumplir con un programa de rehabilitación con tareas duales.
8. Medir los efectos a medio plazo de un programa de rehabilitación de marcha con tareas duales en la biomecánica de la marcha parkinsoniana.
9. Comparar los efectos a medio plazo de un programa de fisioterapia con tareas duales con los del programa de fisioterapia habitual sobre la biomecánica de la marcha parkinsoniana.
10. Contrastar el patrón de marcha de personas mayores sanas con el registrado en personas con enfermedad de Parkinson, ocho semanas después de haber finalizado un programa de rehabilitación con tareas duales, durante la ejecución de tareas simples y duales.
11. Analizar la interferencia de tareas secundarias cognitivas y motoras en la biomecánica de la marcha de las personas con enfermedad de Parkinson después de ocho semanas de la finalización de un programa de rehabilitación con tareas duales.
12. Observar las diferencias en la biomecánica de la marcha entre el hemicuerpo más afectado por los signos de la enfermedad de Parkinson y el hemicuerpo con menos alteración clínica, antes y después de realizar un programa de rehabilitación con tareas duales.
13. Medir el efecto a corto y medio plazo de un programa de rehabilitación con tareas duales en el desempeño de la marcha, el equilibrio y la movilidad de personas con enfermedad de Parkinson, a través de pruebas clínicas.
14. Evaluar el efecto de un programa de rehabilitación con tareas duales en el desempeño de las funciones cognitivas ejecutivas de las personas con enfermedad de Parkinson.
15. Valorar la repercusión de un programa de rehabilitación de marcha con tareas duales en la percepción de la calidad de vida de los pacientes con enfermedad de Parkinson.

Capítulo III. MATERIAL Y MÉTODO

III.1 Diseño de la investigación

El presente estudio es un ensayo clínico controlado aleatorizado, siendo los evaluadores ciegos a la asignación de los participantes en los diferentes grupos. Dado que en el estudio se incluyeron, además de variables dependientes objetivas, otras de corte subjetivo, la técnica de enmascaramiento es también importante (86). Las personas con EP que participaron en el estudio fueron divididas en dos grupos de forma aleatoria: grupo experimental (GE) y control (GC), tal y como se muestra en la Figura III.1.

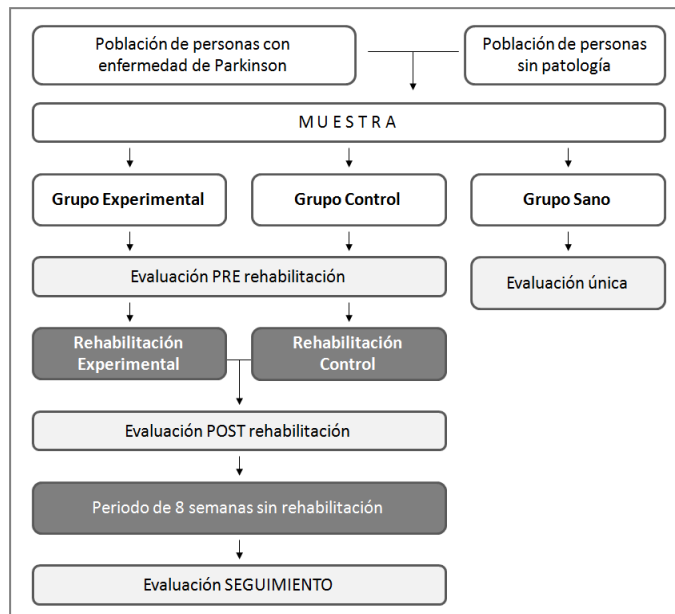


Figura III.1: Diseño experimental de la investigación

Se observan las muestras de personas que participaron en el estudio, los tiempos de medición realizados y los periodos de rehabilitación y de descanso.

Ambos fueron evaluados antes de comenzar sus respectivos programas de rehabilitación, al finalizar el tratamiento de fisioterapia (post) y a las ocho semanas después de haber finalizado esta intervención (seguimiento). Además, se incluyó un

tercer grupo de personas sanas (GS) evaluadas una única vez, que permitió obtener valores de referencia con los que comparar el desempeño de los pacientes. En la Figura III.1 se representa el diseño de la investigación explicado anteriormente.

III.2 Procedimiento general

En primer lugar, y previo al desarrollo de las actividades planificadas en el estudio, se redactó una propuesta de proyecto atendiendo a los requisitos impuestos en la Declaración de Helsinki de 1975, con la posterior revisión en el año 2013. Esta propuesta, junto con su correspondiente solicitud, fue enviada al Comité Ético de la Universitat de València. Una vez aprobada (Anexo I), se llevó a cabo el reclutamiento de participantes. El abordaje de esta tarea fue facilitada gracias a la Asociación Parkinson Valencia y el Servicio de Neurología del Hospital Universitario y Politécnico La Fe.

En la Asociación Parkinson Valencia, tras la presentación y aprobación del proyecto por parte de gerencia y del equipo sanitario del centro, se realizaron reuniones informativas con grupos de pacientes invitándoles a participar en el estudio y explicándoles los procedimientos y objetivos del mismo. De estas sesiones informativas se guardaron los datos de los posibles voluntarios a los cuales se les instó a conversar con sus familias acerca de la posibilidad de participación en el proyecto. Luego, a través de llamadas telefónicas, se resolvió cualquier duda surgida tras la reunión informativa y se confirmó la voluntad de participar en el estudio.

El procedimiento seguido con el Servicio de Neurología del Hospital Universitario y Politécnico La Fe se desarrolló tras la aprobación del estudio por el comité ético de dicho hospital (Anexo II). Desde una de las consultas, se ofreció un documento informativo en formato carta a los pacientes con EP que acudían a control con la descripción y objetivos del estudio, además de los datos de contacto del investigador responsable (Anexo III). Los pacientes interesados fueron atendidos vía telefónica y, después de resolver las preguntas de pacientes y familiares en relación al proyecto, se confirmó su participación.

Los participantes de ambas instituciones realizaron el estudio en tiempos distintos para asegurar que los grupos de rehabilitación no fuesen demasiado numerosos y las sesiones se pudiesen desarrollar con normalidad. Los pacientes de la Asociación Parkinson Valencia participaron en el periodo de tiempo comprendido entre septiembre de 2014 hasta febrero de 2015, mientras que los pacientes del Hospital Universitario y Politécnico La Fe formaron parte de la investigación en el periodo de tiempo comprendido entre diciembre del 2015 hasta junio del 2016.

Para incorporar al estudio a un grupo de personas sanas que tuvieran las mismas edades de los participantes con EP, se contactó con el Centro Municipal de Actividades para Personas Mayores (CMAPM) del distrito de Benimaclet de la ciudad de Valencia y se concertó una reunión con la dirección del mismo. Tras su aprobación, la participación en el estudio, se procedió a difundir los objetivos y descripción del mismo en las personas mayores que asistían a las actividades del centro para, posteriormente, concretar por teléfono la inclusión de quienes habían mostrado interés en colaborar. El reclutamiento de este grupo abarcó un periodo de tiempo comprendido entre abril y mayo del año 2016. A este grupo únicamente se le realizó una única sesión de valoración.

Antes de dar inicio a las fases del estudio, se realizó la puesta a punto del laboratorio donde se iban a llevar a cabo las valoraciones y se preparó el material requerido para realizar las sesiones de rehabilitación. La comprobación del correcto funcionamiento de los equipos de valoración biomecánica a utilizar consistió en la calibración de los mismos y familiarización con los aparatos mediante una sesión completa de medida por parte del grupo investigador. En esta sesión se cronometraron los tiempos requeridos para este propósito, con la finalidad de planificar mejor la agenda de valoraciones.

Una vez se tuvo la confirmación de voluntariedad de participación de todos los pacientes, se procedió a iniciar las diferentes fases del estudio:

1. Entrevista clínica, confirmación del cumplimiento de los criterios de inclusión/exclusión y evaluación prerrehabilitación

2. Realización del programa de rehabilitación correspondiente (20 sesiones de fisioterapia, programadas dos veces por semana en un periodo de 10 semanas)
3. Evaluación postrehabilitación
4. Evaluación de seguimiento ocho semanas después de haber acabado el programa de intervención correspondiente.

Las medidas de evaluación fueron llevadas a cabo en el laboratorio de biomecánica de la Unidad de Evaluación de la Autonomía Personal, Dependencia y Trastornos Mentales Graves (TMAP) de la *Facultat de Medicina de la Universitat de València*. A su vez, la parte de la evaluación prerehabilitación que correspondía a la entrevista clínica y firma de consentimiento informado del grupo de pacientes provenientes de la Asociación de Parkinson Valencia, fue realizada en las dependencias de dicho centro, al igual que la realización de todas las sesiones de rehabilitación de los programas de los grupos control y experimental. La ejecución de las sesiones del programa de fisioterapia experimental estuvo a cargo del grupo investigador, mientras que las sesiones de fisioterapia control fueron realizadas por los fisioterapeutas de la Asociación Parkinson Valencia, previa reunión con los miembros del equipo investigador.

El procedimiento general de valoración consistió en las partes que se muestran en la Figura III.2. En este esquema se puede visualizar las distintas áreas evaluadas antes y después del programa de rehabilitación. Los puntos incluidos en la entrevista y evaluación clínica y parte de la valoración psicométrica, fueron evaluados únicamente antes de comenzar el tratamiento, ya que esta información se utilizó para determinar si los participantes cumplían los criterios de inclusión.

Del mismo modo que las sesiones de evaluación siguieron un esquema determinado, el procedimiento general de rehabilitación del GE consistió en dividir cada sesión de tratamiento en tres partes: calentamiento, entrenamiento dual de marcha y vuelta a la calma. En la parte central se desarrollaron todos los ejercicios relacionados con la mejora de las características de la marcha y el desempeño de esta junto a tareas secundarias.

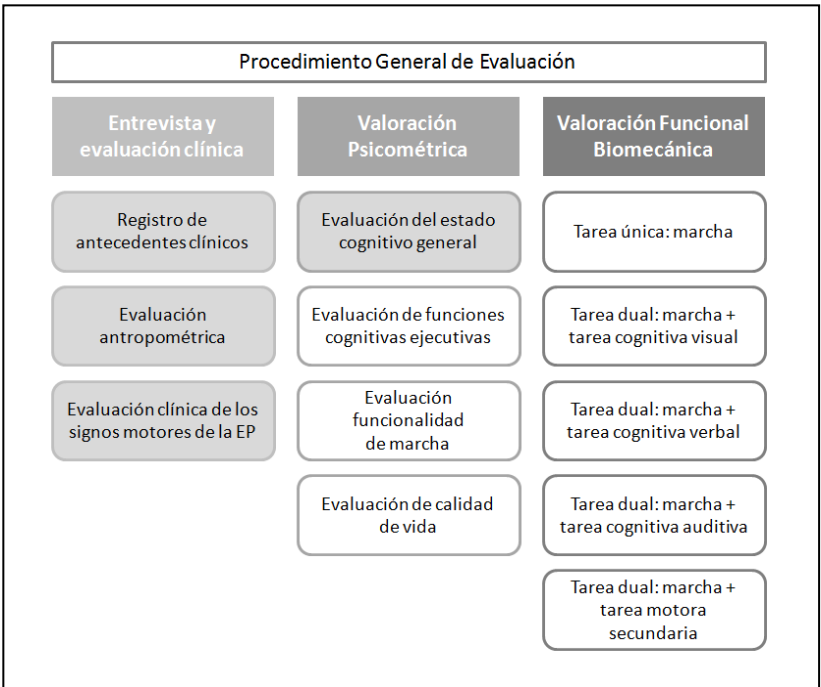


Figura III.2: Procedimiento general de evaluación

Se muestra un esquema de las áreas evaluadas en los tiempos de valoración pre, post y seguimiento. Los cuadros sombreados de la entrevista y evaluación clínica y de la valoración psicométrica representan los ítems valorados únicamente antes de comenzar el tratamiento.

III.3 Participantes

Para reclutar a los participantes del estudio se realizó un muestreo no probabilístico consecutivo (86) en el que la selección de personas se realizaba mediante el cumplimiento de los criterios especificados en el protocolo del estudio. El cálculo del tamaño muestral se realizó en base a los cambios de la variable principal velocidad por efecto del entrenamiento de marcha dual evidenciado en la bibliografía (78). Se consideró un error de tipo I en un 5% y una potencia del 80%, lo que dio como resultado un mínimo de 16 participantes por grupo. Tras la aleatorización de los participantes con EP y los abandonos producidos durante el proceso del proyecto, la muestra final la

integraron 83 personas: 43 integraron el grupo sin patología (GS), 17 sujetos conformaron el grupo que realizó el programa de fisioterapia control (GC) y 23 sujetos conformaron el grupo que realizó el programa de fisioterapia experimental (GE). Los criterios de inclusión y exclusión para estos dos últimos grupos de pacientes se especifican en la Tabla III.1. Estos criterios tratan de controlar que los hallazgos en las valoraciones de marcha sean debido a las alteraciones producidas por la EP y no a otros factores.

Tabla III.1: Criterios de selección especificados para participación en estudio

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
1. Diagnóstico de enfermedad de Parkinson idiopática	1. Presencia de otra alteración neurológica
2. Estadio de Hoehn & Yahr I, II y III	2. Patología musculo-esqueléticas con presentación clínica aguda
3. Realización de marcha independiente	3. Historia de cirugía en miembros inferiores.
4. Estado cognitivo normal según Test Mini mental Parkinson	4. Trastornos del equilibrio debido a otras enfermedades
5. Simetría de longitud de miembros inferiores.	5. Enfermedades crónicas no controladas.

Se muestran los criterios utilizados en la selección de los voluntarios con enfermedad de Parkinson para participar en el estudio del presente trabajo.

Para el grupo de sujetos sin patología, los criterios de inclusión fueron: 1) realización de marcha independiente, 2) estado cognitivo normal y, 3) simetría en la longitud de miembros inferiores; mientras que los criterios de exclusión fueron los mismos que los utilizados en el grupo de pacientes.

Todos los sujetos firmaron un consentimiento informado en el cual se les comunicaba sobre los objetivos y descripción de las diferentes fases de la investigación, además de los posibles beneficios y riesgos que se pudieran derivar de su participación en el estudio, además de que podían revocar dicho consentimiento en cualquier momento (Anexo 4).

III.4 Evaluación de participantes

Como se ha comentado en apartados anteriores, la evaluación de las personas con EP se realizó en tres ocasiones, antes del programa de rehabilitación (pre), al acabar las sesiones (post) y después de ocho semanas de descanso sin rehabilitación física (seguimiento). En este apartado se describen los materiales utilizados para llevar a cabo los procedimientos de valoración, así como el procedimiento realizado.

III.4.1 Material de evaluación

En las diferentes etapas de evaluación, como se mostró en la Figura III.2, se emplearon materiales y herramientas que sirvieron para determinar las características y el estado clínico de la muestra, sus capacidades cognitivas y el desempeño de la función de marcha. Estos instrumentos se detallan a continuación.

III.4.1.1 Formulario de registro de datos sociodemográficos y neurológicos

Se utilizó un único formulario (Anexo 5) para el registro de antecedentes clínicos, específicamente de datos sociodemográficos y de los antecedentes neurológicos de cada participante, además de los datos personales y de contacto. Los datos registrados fueron los siguientes:

- Datos sociodemográficos:
 - Datos de identificación personal
 - Estado civil y personas con las que convive
 - Nivel académico, trabajo realizado en años laborales y tiempo jubilado, en caso de estarlo
 - Hábitos: tabaquismo (cigarros al día), actividad física (horas por semana), actividad recreativa (horas por semana) y actividades de trabajo cognitivo (horas por semana)
 - Lado dominante: se preguntó a los sujetos cuál era su lado dominante, determinado por la mano con la que escribían.

- Antecedentes neurológicos:
 - Evolución de la enfermedad o tiempo transcurrido desde el diagnóstico de la misma
 - Antecedentes familiares de cualquier enfermedad neurodegenerativa o neurológica
 - Medicamentos específicos para la EP, hora de toma y tiempo del día en que la medicación tiene un mayor efecto sobre los signos de la enfermedad de Parkinson
 - Comorbilidades, medicamentos para estos otros diagnósticos y hora de toma.

III.4.1.2 Instrumentos de valoración antropométrica

Para llevar a cabo la evaluación antropométrica que consistió en la medición del peso, altura y longitud de miembros inferiores se utilizaron los siguientes elementos:

- Báscula: TANITA SC-240MA
- Estadiómetro de pared
- Cinta métrica

III.4.1.3 Escalas y pruebas clínicas

A los participantes con EP se les evaluó el estado cognitivo general, las funciones cognitivas ejecutivas, la funcionalidad de marcha y la calidad de vida mediante diferentes test y escalas clínicas. En este apartado se presentan las características de las pruebas utilizadas, así como los datos relativos a la fiabilidad y la validez que han sido descritos previamente en la literatura científica.

Prueba para la evaluación del estado cognitivo general

Uno de los criterios de inclusión del estudio fue que los pacientes conservaran un estado cognitivo normal para poder desarrollar de forma adecuada la valoración de marcha bajo tareas duales. Para esto, se utilizó Test Mini Mental Parkinson (MMP).

El MMP fue desarrollado en 1995 (87) como una adaptación del test *MiniMental State Examination* (MMSE) para la evaluación de los déficits cognitivos que caracterizan la EP. El Mini Mental Parkinson (MMP) incluye siete subsecciones: i. orientación temporal y espacial (10 puntos), ii. registro visual (3 puntos), iii. atención y control mental (5 puntos), iv. fluidez verbal (3 puntos), v. recuerdo visual (4 puntos), vi. set de cambios (4 puntos) y vii. procesamiento de conceptos (3 puntos). La puntuación máxima total es de 32 puntos, donde la máxima puntuación indica un mejor desempeño. El valor total se calcula sumando el puntaje obtenido en cada uno de los ítems, considerando 25 puntos o más una función cognitiva normal en la EP. Las características que definen esta escala son las siguientes:

- Forma y tiempo de administración: administrado por el evaluador, 5 a 10 minutos
- Fiabilidad: consistencia interna: Alfa de Cronbach global = 0,774 (88)
- Validez:
 - Correlación con la escala *Dementia Rating Scale*: rho de Spearman = 0,71 ($p<0,01$)(88)
 - Correlación con la escala *Mini Mental Examination Test*: rho de Spearman = 0,74 ($p<0,01$) (89).

Pruebas para la evaluación de funciones cognitivas ejecutivas

Como se ha mencionado en apartados anteriores, las funciones ejecutivas están involucradas en el desempeño de tareas duales y suelen estar alteradas en estadios avanzados de la EP. Para medir esta capacidad cognitiva se utilizaron los siguientes test:

A. Frontal Assessment Battery

El test *Frontal Assessment Battery* (FAB) (90) consta de seis sub-test: i. conceptualización y razonamiento abstracto (prueba de similitudes), ii. flexibilidad mental (prueba verbal y de fluidez), iii. programación motora control ejecutivo de acción (secuencia motora de Luria), iv. sensibilidad a la interferencia (instrucciones contradictorias), v. control inhibitorio (prueba de *go/no-go*) y, vi. autonomía ambiental (comportamiento de

prensión). Cada uno de los ítems puede tener una puntuación entre 0 y 3, siendo el máximo alcanzable del test 18 puntos. Una puntuación alta refleja un mejor desempeño de las funciones ejecutivas evaluadas, siendo la puntuación de corte 16 puntos o más para personas sin déficits frontosubcortical (91). Las características de la prueba FAB son (90):

- Forma y tiempo de realización: administrado por el evaluador, 10 minutos (92)
- Fiabilidad:
 - Entre observadores: coeficiente kappa = 0,87 ($p < 0,001$)
 - Consistencia Interna: coeficiente Alfa de Cronbach global = 0,78
- Validez:
 - Correlación con la escala *Mattis Dementia Rating Scale scores*: rho de Spearman = 0,82 ($p < 0,01$)
 - Validez discriminante: 89,1% de casos correctamente identificados en análisis discriminante entre pacientes y controles.

B. Trail Making Test A y B

La prueba *Trail Making Test*, también conocida como la prueba de "papel y lápiz" consta de dos partes: A y B (TMT_A, TMT_B). Cuando este test fue creado, se utilizaba como prueba de inteligencia (93) y se convirtió en uno de los test neuropsicológicos más utilizados por proporcionar información sobre la búsqueda visual, escaneo, velocidad de procesamiento, flexibilidad mental y funciones ejecutivas (94,95). La parte A de este test requiere que la persona evaluada dibuje líneas que conecten secuencialmente 25 números, cada uno dentro de un círculo, distribuidos en una hoja de papel, en el menor tiempo posible. Esto permite medir específicamente herramientas de búsqueda y atención visual y velocidad psicomotora. La parte B requiere una ejecución similar, con la excepción de que la persona debe alternar la secuencia de números (del 1 al 13) con letras (de la "A" a la "L"), distribuidos de manera aleatoria (por ejemplo: 1, A, 2, B, 3, C, etc.); permitiendo medir el control ejecutivo, la flexibilidad cognitiva y de alternancia. En cada parte del test, se cronometra el tiempo (s) que tarda la persona evaluada en completar cada parte. Si el evaluador observa un error en el orden de las líneas trazadas,

debe interrumpir al sujeto y corregir el error sin detener el cronómetro durante la corrección. Los resultados de esta prueba son los tiempos en que tarda el paciente en ejecutar la parte A y B. Las puntuaciones de corte del tiempo en segundos para los adultos entre 60 y 70 años son: para la parte A y para personas con 12 años de educación o menos, se considera alterado el tiempo mayor o igual a 104 segundos; mientras que para adultos con más de 12 años de educación, la puntuación de corte es de 59 segundos o más. En la parte B, los valores que se aceptan como alterado para personas con hasta 12 años de educación es de 220 segundos o más; mientras que, para los adultos con más de 12 años de educación, el puntaje de corte es igual o superior a 133 segundos. Las características de la prueba son:

- Forma y tiempo de realización: administrado por el evaluador, 10 minutos.
 - Fiabilidad inter observador Parte A: índice de correlación intraclass (ICC) de 0,76; Parte B: ICC 0,82 (96)
- Validez:
 - Correlación con prueba de fluidez verbal semántica: puntuación parte A, estadístico de Pearson = -0,36 ($p < 0,01$); parte B, estadístico de Pearson = -0,40 ($p < 0,01$) (97)
 - Correlación con Test de Labertinto de Porteus: puntuación parte A, estadístico de Pearson = -0,48 ($p < 0,01$); parte B, estadístico de Pearson = -0,45 ($p < 0,01$) (97).

Pruebas para la evaluación de la función de marcha

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, las alteraciones de marcha son altamente incapacitantes en la enfermedad de Parkinson. Para evaluar este aspecto funcional, se utilizaron tres instrumentos psicométricos distintos.

A. Dynamic Parkinson Gait Scale (DYPAGS)

La escala *Dynamic Parkinson Gait* (DYPAGS) (98) evalúa el desempeño de la marcha en pruebas desafiantes, a diferencia de la mayoría de test que analizan el desempeño de esta función en condiciones basales. Cada uno de los 8 ítems que conforman la escala,

tienen una puntuación de 0 al 5, la que se asigna de acuerdo al desempeño logrado en cada ítem; éstos son: i. caminar 7 metros hacia adelante, ii. caminar 3 metros hacia atrás, iii. girar 360° en el sitio a la derecha, iv. girar 360° en el sitio a la izquierda, v. pasar por encima de un obstáculo imaginario con la pierna derecha, vi. pasar por encima de un obstáculo imaginario con la pierna izquierda, vii. pasar a través de un espacio reducido y, viii. caminar mientras se desarrolla una doble tarea cognitiva. La puntuación total de la escala DYPAGS es de 40 puntos, altas puntuaciones representan severos trastornos de la marcha relacionados con la EP. Las características de esta escala son:

- Forma y tiempo de realización: administrado por el evaluador, 4 a 8 minutos.
- Fiabilidad:
 - Inter observador: coeficiente Alfa de krippendorff = 0,83; coeficiente W de Kendall = 0,90; ICC = 0,94
 - Consistencia interna: coeficiente Alfa de Cronbach global = 0,95
- Validez:
 - Correlación con prueba *Freezing of Gait Questionnaire* (FOG-Q): coeficiente de correlación de Spearman = 0.74 ($p < 0,01$)
 - Correlación con el índice de movilidad de la prueba *PD Questionnaire* (PDQ-39 gait): coeficiente de correlación de Spearman = 0,58 ($p < 0,01$)
 - Correlación con parte motora de la escala *Unified Parkinson's Disease Rating Scale* (MDS-UPDRS_{gait}): coeficiente de correlación de Spearman = 0,81 ($p < 0,01$)
 - Correlación con la parte de evaluación de marcha de la prueba *Tinetti Mobility Test* (TMT_{gait}): coeficiente de correlación de Spearman = -0,71 ($p < 0,01$).

B. Tinetti Mobility Test

Se utilizó la escala *Tinetti Performance-Oriented Mobility Assessment* (POMA), también conocida como *Tinetti Mobility Test* (Tinetti), para evaluar la movilidad funcional, concretamente las funciones de equilibrio y marcha en condiciones basales. Si bien esta escala ha sido diseñada en un principio para evaluar a personas mayores y ha sido

considerada como un predictor de caídas en este grupo etario (99), ha sido validada en pacientes con diferentes patologías como accidente cerebro vascular, esclerosis lateral amiotrófica y EP, siendo uno de los instrumentos psicométricos más utilizados en la valoración clínica de la marcha y el equilibrio. La escala Tinetti está compuesta por 16 ítems en total, divididos en dos componentes para evaluar las funciones de marcha y equilibrio de manera independiente. Para la evaluación de la marcha, el paciente debe caminar por un pasillo a un ritmo habitual, mientras se valora: i. iniciación de la marcha; ii. longitud y altura del paso derecho e izquierdo, iii. simetría del paso, iv. continuidad de los pasos, v. desviación de la trayectoria, vi. movilidad del tronco y, vii. separación de los pies al caminar. Para la evaluación del componente equilibrio, el paciente debe permanecer sentado en una silla sin reposabrazos y se comprueban las siguientes maniobras: i. equilibrio sentado, ii. capacidad de levantarse, iii. intento de levantarse, iv. equilibrio inmediato de pie (primeros 5 segundos), v. equilibrio de pie, vi. intento de desestabilización, vii. equilibrio con ojos cerrados, viii. giro sobre el lugar de 360° y, ix. equilibrio al sentarse. Las respuestas se califican como 0 si la persona no logra mantener la estabilidad en los cambios de posición o muestra un patrón de marcha inapropiado de acuerdo con los parámetros descritos en la escala, lo que se considera como anormal; la calificación de 1 significa que la persona evaluada logró los cambios de posición o patrones de marcha con compensaciones posturales, lo que se denomina como conducta adaptativa; y por último la calificación de 2 se puntúa cuando la persona demuestra no tener dificultades para ejecutar las diferentes tareas de la escala y se considera como normal (100). La puntuación máxima del equilibrio es 16 y el de la marcha 12, sumando un total de 28 puntos. Las personas con puntuaciones entre 19 a 24 puntos en la escala Tinetti tienen riesgo de caídas moderado y, las personas con puntuaciones inferiores a 19, tienen un alto riesgo de caídas(99)(99) (26,99,100). Las características de la escala TMT, estudiadas en una muestra de pacientes con enfermedad de Parkinson son (101):

- Forma y tiempo de realización: administrado por evaluador, 10-15 minutos.
- Fiabilidad:
 - Intra observador: ICC = 0,96 (102)

- Inter observador: ICC = 0,88 ($p < 0,01$)
- Validez:
 - Correlación significativa y negativa con parte motora de la escala *Unified Parkinson's Disease Rating Scale* (MDS-UPDRS_{gait}), estadístico de Pearson = -0,45 ($p < 0,05$)
 - Correlación significativa y positiva con velocidad de marcha a ritmo confortable: estadístico de Pearson = 0,53 ($p < 0,01$)
 - Sensibilidad de identificar el riesgo de caídas (contrastado con historia clínica) de un 76%.

C. Timed Up and Go Test

La prueba *Timed Up and Go* (TUG) es un examen clínico simple, rápido y extensamente utilizado para medir el desempeño de la función de miembros inferiores, movilidad y riesgo de caída (103). La prueba TUG ha demostrado ser útil para evaluar una variedad de intervenciones terapéuticas, tanto en la población adulta mayor sana, como en personas con diferentes patologías neurológicas, incluyendo pacientes con EP (104). La prueba consiste en que los sujetos deben levantarse desde una silla estándar (silla con altura entre 44 y 47 centímetros), caminar 3 metros hacia adelante (marcados en el suelo) en un espacio confortable, girar, volver caminando hacia a la silla y sentarse. A los participantes se les permite usar las ayudas técnicas habituales que utilizaran para la marcha, aunque en este estudio no fue necesario porque uno de los criterios de participación era no utilizar bastones u otro tipo de dispositivos. Como indicaciones, los sujetos evaluados no pueden utilizar sus brazos para levantarse y no se debe dar asistencia física para realizar la prueba. El tiempo para completar la tarea es medido con cronómetro, comienza con la instrucción de "adelante" y se detiene cuando la persona se sienta y termina de apoyar la espalda en el respaldo de la silla. Varios estudios han adoptado una versión modificada de la prueba en la que los sujetos se les pide caminar tan rápido como puedan, variación que fue incluida en este estudio (105). Se ha sugerido en estudios previos que la puntuación de 13,5 segundos es el umbral para identificar las

personas con mayor riesgo de caer. Los estudios de fiabilidad realizados de la prueba TUG en grupos de pacientes mayores indican las siguientes características:

- Forma y tiempo de realización: administrado por evaluador en menos de 1 minuto
- Fiabilidad en población con EP (106):
 - Repetibilidad (*test-retest*): ICC = 0,90
 - Intra observador: ICC = 0,97
 - Inter observadores: ICC = 0,96
- Validez:
 - Correlación significativa con prueba *6 Minute Walk Test*: índice de correlación de Spearman = -0,89 ($p < 0,05$) (107)
 - Capacidad de identificar personas con riesgo de caídas con una sensibilidad de y especificidad = 87%, cuando se realiza la prueba únicamente o cuando se incluye otra tarea al mismo tiempo (cognitiva o manual) (104).

Pruebas para la evaluación de calidad de vida

Se buscó evaluar la calidad de vida de las personas con EP con un instrumento específico que considerara situaciones y cuestiones propias de la enfermedad que pudieran alterar su percepción de la calidad de vida, el que se explica a continuación.

A. Parkinson's Disease Questionnaire-39

La calidad de vida relacionada con la salud se evalúa con la escala *Parkinson's Disease Questionnaire-39* (PDQ-39) (108), considerada en la literatura como uno de los instrumentos más utilizados para valorar la percepción de los pacientes con enfermedad de Parkinson en esta área, por lo que ha sido validada en diversos idiomas incluyendo el castellano (109). Esta escala contiene 39 ítems distribuidos en las siguientes áreas: i. movilidad (10 ítems), ii. actividades de la vida diaria (6 ítems), iii. bienestar emocional (6 ítems), iv. estigma (4 ítems), v. apoyo social (3 ítems), vi. estado cognitivo (4 ítems), vii. comunicación (3 ítems) y, viii. malestar corporal (3 ítems). Cada ítem tiene cinco

respuestas posibles: nunca (0 puntos), ocasionalmente (1 punto), a veces (2 puntos), a menudo (3 puntos) y siempre (4 puntos). La puntuación para cada dominio se calcula dividiendo la suma de las puntuaciones de los ítems por la máxima puntuación posible para esa dimensión y se expresa en porcentaje. El índice sumarial del PDQ-39 se calcula como media aritmética de las puntuaciones de las ocho dimensiones. La escala en total puntúa entre 0 y 100%, indicando una peor calidad de vida, porcentajes altos. El marco temporal evaluado es el último mes y normalmente es el paciente quien lee y contesta las preguntas, sin embargo, en este estudio se decidió completar la escala con la ayuda del investigador para agilizar el procedimiento (110).

Las propiedades psicométricas descritas en el estudio de validación de la escala en su versión española son (109):

- Forma y tiempo de realización: administrado por evaluador en 10 - 15 minutos
- Fiabilidad: Consistencia interna: coeficiente Alfa de Cronbach = $>0,7$ en 6 de las 8 dimensiones de la escala
- Validez: Correlación significativa con cuestionario de la salud SF-36, índice de correlación de Spearman = $>0,8$ ($p<0,01$).

III.4.1.4 Instrumentos de valoración biomecánica

La caracterización del gesto de marcha se realizó mediante valoración instrumental biomecánica. En este apartado se describen los instrumentos y medios utilizados para la valoración objetiva de esta función.

Sistema de fotogrametría

Para la evaluación cinemática de marcha se utilizó el sistema de fotogrametría Kinescan/IBV (Instituto de Biomecánica de Valencia, Valencia, España) (111), versión 5.3.0.1. Este sistema permite determinar las coordenadas espaciales de un conjunto de marcadores fijados a segmentos corporales a partir de imágenes filmadas por un conjunto de cámaras sincronizadas, permitiendo así la obtención de variables

cinemáticas (posiciones, ángulos, velocidades y aceleraciones). Las características técnicas del equipo son las siguientes (112):

- CCD (*charge coupled device*): Un chip CCD es el dispositivo de captura de imagen que contiene cientos de fotodiodos (sensores sensibles a la luz) en una matriz de filas y columnas a cuya celda se le denomina pixel. El CDD del sistema es de 832(H) x 832 (V) pixeles
- Frecuencia de adquisición: La frecuencia de adquisición del equipo se puede configurar desde un mínimo de 30 fotogramas por segundo (fps) hasta un máximo de 250 fps; en nuestro estudio este parámetro fue fijado en 50 fps, lo que es suficiente para medir movimientos lentos como la marcha humana (30)
- El error experimental del sistema de fotogrametría utilizado fue determinado en un estudio previo (113), en el cual se concluyó que la pequeña magnitud del error del sistema de medida no tenía una influencia relevante en los cálculos cinemáticos. Los resultados de los análisis realizados por los autores fueron los siguientes: i. error accidental en la medida de posición < 0,7 mm; ii. error sistemático en la medida de posición = 1,9 mm/m; iii. error en el cálculo del desplazamiento lineal $\approx 0,2$ mm.

Además de la aplicación informática, el sistema de fotogrametría utilizado está constituido por un sistema de cámaras y focos de iluminación, un sistema de referencia para calibrar el equipo y marcadores para colocar sobre referencias anatómicas o sobre los segmentos corporales a valorar según el modelo biomecánico definido para valorar el gesto que se desee (Figura III.3).

A. Cámaras y sistema de iluminación

Los sistemas de fotogrametría con dos o más cámaras permiten registrar y analizar los movimientos humanos en tres dimensiones (3D). En este estudio se utilizaron 11 cámaras *Giga-Ethernet* con tecnología POE (*Power Over Ethernet*) y procesado *On-Board* (Figura III.3), lo que hace referencia a la capacidad de transmisión de imágenes, al tipo de alimentación eléctrica y a que tiene un procesador incorporado, respectivamente.



Figura III.3: Sistema de fotogrametría

En la imagen superior izquierda se observa un esquema de un sistema de fotogrametría. En la imagen superior derecha se observa una de las cámaras del sistema de fotogrametría Kinescan/IBV. En la imagen inferior se observa el sistema utilizado en el presente estudio.

Las cámaras en modalidad infrarroja (IR) son sensibles únicamente a la longitud de onda correspondiente y por este motivo, las cámaras son sensibles solamente a la imagen de los marcadores reflectantes. Las cámaras del sistema Kinescan/IBV cuentan con dos características especiales:

- Cada cámara tiene incorporada una luz infrarroja para proporcionar una iluminación artificial que mejora la reflexión de la luz en el marcador y por lo tanto mejora su detección en el registro
- Son cámaras inteligentes capaces de detectar la posición del reflejo de los marcadores en el sensor y únicamente transmitir sus coordenadas, lo que reduce el volumen de información a transferir entre la cámara y el software, permitiendo al sistema acelerar el procesamiento de los datos y realizar la reconstrucción 3D en tiempo real.

B. Sistema de referencia y calibración del equipo

El procedimiento de calibración permite establecer la correspondencia que existe entre la posición de los segmentos corporales en el mundo real y la que indican las imágenes

grabadas por cada una de las cámaras del sistema de fotogrametría. El resultado de este proceso son los parámetros de calibración que se utilizan para obtener las coordenadas 3D a partir de sus coordenadas 2D. Antes de comenzar las grabaciones, el responsable de mantenimiento técnico del equipo (personal de asistencia técnica IBV) constató la correcta calibración del espacio, procedimiento que se realizó con el método de calibración por haces al que hace referencia su manual de usuario.

C. Sistema de grabación y procesado de imágenes

Una vez las cámaras han registrado una valoración, el procesamiento de esas imágenes requiere llevar a cabo un proceso de digitalización para el reconocimiento de las coordenadas de los marcadores en cada una de las cámaras. De esta manera se obtiene un conjunto discreto de coordenadas distribuidas uniformemente en el tiempo. Solamente es necesario digitalizar manualmente el primer instante de la reconstrucción; a partir del segundo instante o fotograma, el sistema es capaz de digitalizar automáticamente las trayectorias de los marcadores mediante un sistema de epipolares.

D. Modelo biomecánico y materiales de instrumentación

Para el registro de la marcha humana con el sistema de fotogrametría en 3D, se utilizó un modelo biomecánico de 35 marcadores fijados en puntos anatómicos específicos, los cuales que se describen en el apartado de procedimiento. Los materiales utilizados para la instrumentación del modelo biomecánico se muestran en la figura III.4 y se detallan a continuación:

- Vestuario y calzado: la vestimenta para la realización de la valoración de marcha fue proporcionada a los pacientes por el equipo de investigación y constó de un pantalón corto de deporte, una camiseta sin mangas y unos calcetines que dejaban libre el dorso del pie. Además de esto, se utilizaron bridas en los laterales del pantalón para descubrir el muslo completamente.
- Elementos para preparación de la piel: para que los marcadores se mantuvieran en la piel durante todo el tiempo de valoración, se limpió y preparó la piel con alcohol, se afeitó en los casos de excesiva velloidad y se colocó esparadrapo sobre la base flexible del marcador.

- **Marcadores y adhesivos:** los marcadores utilizados consistían en una esfera de material plástico ligero de 2 cm de diámetro, recubierta de papel reflectante y una base de material flexible, lo que permitía la correcta adherencia a la piel y a las eminencias óseas que fueran poco regulares. Bajo la base del marcador se colocó un adhesivo hipoalergénico de doble contacto, especial para uso sanitario.



Figura III.4: Materiales utilizados para el procedimiento de instrumentación de los participantes

En las imágenes superiores se observan los marcadores utilizados para representar el modelo biomecánico. En las imágenes inferiores se observan los insumos utilizados durante la medida como vestimenta y elementos de preparación de la piel.

El sistema Kinescan/IBV, permite el registro con otras técnicas instrumentales de manera simultánea al sistema de fotogrametría, lo que permitió que en nuestro estudio se incluyera un sistema de análisis dinamométrico con dos plataformas de fuerza.

Plataformas dinamométricas

Además de utilizar un sistema de fotogrametría, se utilizaron en el análisis de marcha dos plataformas dinamométricas Dinascan/IBV (Instituto de Biomecánica de Valencia,

Valencia, España) para registrar el inicio del ciclo de marcha con el contacto del talón (Figura III.5).

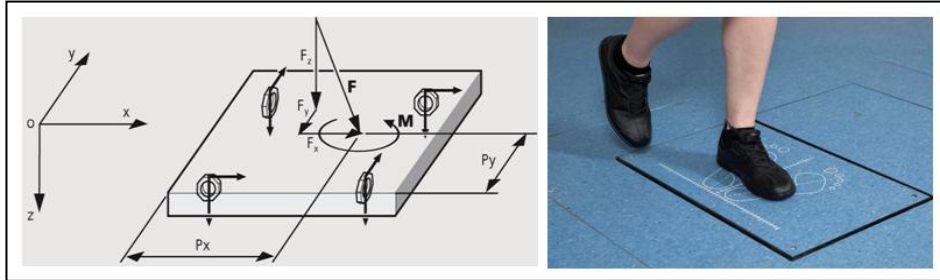


Figura III.5: Plataforma dinamométrica

En la imagen superior se muestra un diagrama de la configuración de una plataforma dinamométrica. En la imagen inferior se muestran las dos plataformas utilizadas en el estudio.

Las plataformas dinamométricas son una herramienta para el análisis cinético que proporciona información sobre las fuerzas de reacción y momentos de fuerzas durante el apoyo en las tres componentes del espacio: vertical, mediolateral y anteroposterior. Están constituidas por una superficie plana y sensores capaces de registrar el vector tridimensional de la fuerza de reacción que se ejerce sobre el suelo y el centro de presiones desde el que se aplica. Para realizar una valoración, se puede utilizar una o varias plataformas y es necesario que estén encastradas en el suelo para que pasen desapercibidas para la persona valorada. En este estudio se utilizaron dos plataformas, lo que facilitó y agilizó el registro de las pisadas debido a la dificultad de obtener una huella aislada en pacientes que realizan una longitud de paso corto, como es el caso de los pacientes con EP.

III.4.2 Procedimientos de valoración

Todas las herramientas descritas fueron empleadas dentro del protocolo de valoración establecido en este estudio. En este apartado se describen los procedimientos relacionados con la valoración de los participantes, que se llevó a cabo tras una hora de

la toma de la medicación específica para la enfermedad de Parkinson (fase *on*) (75,76,80–85).

III.4.2.1 Evaluación clínica

Una vez los participantes acudieron al lugar de valoración, se inició la sesión de medida con la evaluación clínica, realizando los procedimientos siempre en el orden que a continuación se describen.

Registro de datos sociodemográficos y antecedentes neurológicos

La obtención de los datos del formulario de registro fue a través de entrevista directa con el paciente y con sus familiares, en caso de que estos hubieran acompañado al paciente a su valoración. Desde la primera toma de contacto con los participantes, se sugirió que acudieran a esta primera cita con algún familiar para que apoyara la información entregada en relación a los datos sociodemográficos y antecedentes neurológicos, además de favorecer la comodidad de los sujetos en la experiencia de participar en el proyecto e involucrar a la familia en el estudio.

Evaluación antropométrica

Una vez se registraron todos los datos necesarios para completar la historia clínica, se procedió a realizar la medida de la talla y el peso, así como la longitud de miembros inferiores. La evaluación de este último parámetro se realizó con el fin de determinar si existía una asimetría entre ambas extremidades inferiores que pudiera ocasionar claudicación en los pacientes durante la marcha. En posición bípeda, se midió cada extremidad desde la espina iliaca antero-superior hasta el maléolo medial de la tibia. Se consideró que existía asimetría cuando la diferencia entre ambas longitudes era mayor a un centímetro.

Evaluación clínica de la enfermedad de Parkinson

Tras las medidas antropométricas se procedió a evaluar los siguientes signos y síntomas clínicos de la enfermedad de Parkinson:

- Predominio de signos referido por el paciente. Se consultó a los participantes si los signos de temblor de reposo, bradicinesia y rigidez se presentaban mayoritariamente en el lado derecho, izquierdo o si se expresaban en igual magnitud de forma bilateral
- Hemicuerpo en el que se manifestaron los signos parkinsonianos por primera vez. Se preguntó en qué lado del cuerpo los pacientes observaron por primera vez algunos de los signos anteriormente mencionados.
- Evaluación de bradicinesia. La lentitud en el inicio o ejecución del movimiento, al igual que la dificultad de mantener un ritmo y amplitud adecuados durante la realización de movimiento repetidos (114), se evaluaron a través de tres pruebas clínicas: i. se solicitó a los pacientes que con el índice tocaran repetidas veces, y de manera alternada, su nariz y el dedo del evaluador situado en frente de cada sujeto a 50 cm de distancia, primero con la mano derecha y luego con la mano izquierda; ii. se les solicitó que detuvieran un lápiz mientras éste caía sobre la mesa, cinco intentos con la mano derecha y cinco más con la mano izquierda; iii. acostados sobre una camilla, se les pidió a los participantes que imitaran el movimiento de pedaleo sobre una bicicleta de manera repetida sin detenerse. Cualquier alteración en el inicio o ejecución de estos movimientos (fluidez, velocidad y cumplimiento del gesto) se consideró como signo clínico positivo de bradicinesia.
- Evaluación de rigidez articular. Se exploró la resistencia al movimiento pasivo, sin y con velocidad, en la flexo-extensión de muñeca y codo, y la flexo-extensión de rodilla y de cadera en posición de decúbito supino sobre una camilla. La observación de resistencia constante en toda la amplitud de movimiento provocada por un aumento del tono muscular basal (signo de "tubería en plomo") o la resistencia observada en forma de carraca, producida por el

aumento del tono combinado con el temblor (signo de "rueda dentada") se consideraron signos positivos de rigidez (115).

- Presencia de temblor de reposo. Se observó de manera general si el temblor de reposo se presentaba en alguna extremidad superior y/o inferior, así como la lateralidad de este signo.
- Alteración postural explorada mediante dos test. El primero fue el test de desestabilización anterior y posterior, en el cual los participantes debían mantener el equilibrio cuando el evaluador trataba de desestabilizarlos con una fuerza aplicada a nivel de los hombros hacia adelante o hacia atrás. Se consideró positivo si el paciente comenzaba a caer o necesitaba cambiar la posición de los pies para poder mantener el equilibrio. El segundo fue el test de Romberg en dos condiciones (ojos abiertos y ojos cerrados) en las cuales el paciente, con pies juntos y brazos a los lados, debía mantener el equilibrio en esa posición durante 10 segundos. Se consideró positivo cuando la persona comenzaba a experimentar un balanceo abruptamente.
- Otros signos y síntomas referidos por el paciente. Se recogieron a modo de historia clínica cualquier otro signo y síntoma que los participantes describiesen.
- Estadío Hoehn y Yahr. Con la evaluación de los signos mencionados anteriormente, se determinó el estadio de la enfermedad para cada participante.

III.4.2.2 Administración de cuestionarios

Se emplearon cuestionarios para evaluar el estado cognitivo general, las funciones cognitivas ejecutivas, la funcionalidad de marcha y la calidad de vida. A continuación, se detalla el procedimiento de cumplimentación de las escalas y pruebas clínicas utilizadas.

Protocolo de valoración del estado cognitivo y funciones ejecutivas

Tanto el cuestionario MMP como la prueba TMT_{A-B} fueron administrados en una mesa de entrevista. En el primero de estos, el evaluador dio las instrucciones de cada ítem del

test y el paciente fue respondiendo a cada una de las preguntas formuladas. En la realización de la prueba TMT_{A-B}, el evaluador indicó las instrucciones y el paciente realizó la prueba de manera independiente, como se observa en la figura III.6. Se cronometró el tiempo de cada sub parte de la prueba y se corrigieron los errores que el paciente cometía en el trazado de éste.

Protocolo de valoración clínica de la función de marcha

La valoración de marcha con instrumentos psicométricos se realizó con los test DYPAGS, Tinetti y TUG. La realización de estos se llevó a cabo con el paciente de pie y el evaluador le fue solicitando sucesivamente la ejecución de cada una de las pruebas. Todos estos test requieren el desempeño de alguna actividad física relacionada con la marcha, con lo cual los sujetos no tenían que referir verbalmente ninguna respuesta. El evaluador puntuó cada ítem según si el paciente cumplía con éxito cada actividad. En el caso del test TUG, el evaluador cronometró el tiempo en que los sujetos tardaban en levantarse de una silla, caminar 3 metros y volver a sentarse.



Figura III.6: Desarrollo de prueba clínica

Participante con enfermedad de Parkinson realizando la prueba Trail Making Test parte A.

Protocolo de valoración de la calidad de vida

La calidad de vida fue evaluada con el test PDQ-39. Esta prueba se llevó a cabo en una mesa de entrevista y el evaluador fue formulando cada una de las 39 preguntas relacionadas con cuestiones cotidianas en la vida de una persona con EP. El paciente fue respondiendo a cada una de estas preguntas señalando una de las alternativas contempladas en el test como respuesta (nunca, ocasionalmente, a veces, a menudo y siempre).

III.4.2.3 Valoración biomecánica de marcha

Tras la entrevista y evaluación clínica de los participantes se procedió a realizar la valoración funcional de marcha con técnicas instrumentales biomecánicas. Esta parte de la evaluación duró aproximadamente una hora, lo que varió en función de la condición física de los participantes con EP. Se dejaron los registros de marcha para el final de la sesión de evaluación con el objetivo de que el paciente estuviera más relajado y tranquilo a la hora de realizar las pruebas físicas, ya que factores como el nerviosismo o el estrés pueden influir en los signos motores de la enfermedad de Parkinson (8). La sesión de medida estuvo asistida por dos valoradores, uno de ellos estuvo a cargo del manejo del ordenador y control de la aplicación, mientras el otro estaba a cargo de dar las instrucciones, asistir al paciente y de supervisar que la prueba se realizara correctamente.

Instrumentación

A. Vestuario y preparación de la piel

Los participantes no debían traer ningún tipo de material o vestuario ya que todos los materiales necesarios fueron proporcionados por el estudio. La única precaución que los participantes debían tener era la de no poner cremas o sustancias lubricantes en la piel que dificultaran la adherencia de los marcadores. Se facilitó un espacio cerrado, diferente al espacio de valoración, para que los sujetos pudieran cambiarse de ropa (pantalón corto, camiseta sin mangas y calcetines sin dorso). Asimismo, se aseguró una

adecuada temperatura en el laboratorio donde se tomaron las medidas, debido a que uno de los signos no motores que se pueden manifestar en la EP es la dificultad de regular la temperatura corporal, por lo que la temperatura ambiental se mantuvo ligeramente por encima de los 25°C.

Con la vestimenta adecuada se procedió a la preparación de la piel y ubicación de los marcadores sobre los puntos del modelo biomecánico definido. Se afeitó la zona en los casos de excesiva velloidad y se limpió con un algodón y alcohol para asegurar la máxima adherencia posible del adhesivo hipoalergénico. En este sentido, además, se colocó un esparadrapo por encima de la base flexible del marcador hasta la piel.

B. Instrumentación del modelo biomecánico

Tras el procedimiento descrito anteriormente, se procedió a la colocación de los 35 marcadores del modelo que permitió estudiar el movimiento de los miembros inferiores, pelvis y tronco, tal y como se describe en las Figuras III.7 y III.8. La ubicación de los puntos anatómicos se realizó con el paciente de pie y se hizo de forma bilateral a excepción del marcador *cervical*. La instrumentación se detalla a continuación:

- **Cervical:** se ubicó un marcador en la apófisis espinosa de la 7ª vértebra cervical. Para su palpación se localizó la apófisis espinosa más prominente a la altura de la columna cervical y la apófisis inferior a esta. Se solicitó al sujeto flexión de cuello y se observó si durante la extensión, la apófisis prominente se desplaza hacia anterior, en comparación con la apófisis espinosa inferior. La observación de este movimiento confirmó la ubicación de la última vértebra cervical
- **Acromion:** se ubicó un marcador en el punto medio entre el borde posterior del acromion y la región anterior y más lateral de la clavícula. Se evitó la colocación del marcador en la hendidura correspondiente con la articulación glenohumeral
- **Pelvis anterior:** se ubicó un marcador en la espina iliaca anterior y superior, que corresponde a la parte más anterior de la cresta ilíaca y se identifica siguiendo el recorrido que sigue esta cresta hacia anterior



Figura III.7: Modelo biomecánico utilizado en la valoración de marcha

La imagen superior muestra una visión de cuerpo completo en diferentes planos (frontal anterior y posterior y plan sagital) del modelo biomecánico. La imagen inferior muestra la instrumentación de los segmentos corporales.

- Pelvis posterior: se ubicó un marcador en la espina iliaca posterior y superior, la cual se corresponde con la parte más posterior de la cresta ilíaca
- Trocánter: se ubicó un marcador en el trocánter mayor del fémur, el cual corresponde a la eminencia ósea palpada en la cara externa o lateral de la articulación de cadera. Para corroborar su ubicación, una vez palpado, se solicitó al sujeto que apoyara el talón en el suelo y que realizara rotación externa e interna de la pierna con la rodilla en extensión. Este movimiento mostró cómo el trocánter se deslizaba de delante hacia atrás con el movimiento
- Cóndilos: se ubicó un marcador en cada cóndilo medial y lateral del fémur. Para su palpación, se solicitó al sujeto una ligera flexión de rodilla para situar ambos pulgares del evaluador a cada lado del ligamento rotuliano, a la altura de línea articular de rodilla. Se desplazaron ambos pulgares hacia arriba para palpar ambos cóndilos
- Maléolos: se ubicó un marcador en el extremo distal y más prominente del hueso peroné (maléolo lateral) y del hueso tibia (maléolo medial)
- Muslo: se ubicaron tres marcadores formando un triángulo de vértice anterior, donde se encuentra la mayor masa muscular en la zona lateral del muslo. Para ubicar los dos marcadores más posteriores, se dejó un palmo desde el marcador anterior. Los dos marcadores que representaban los puntos más posteriores del triángulo no debían quedar alineados
- Pierna: se ubicaron tres marcadores para representar el segmento *pierna*, ubicado en su zona lateral. El segmento quedó formado por un triángulo de vértice posterior, donde se encuentra la mayor masa muscular. Se dejó un palmo entre el marcador posterior y los marcadores anteriores y se procuró que éstos no quedaran alineados
- Calcáneo: se ubicó un marcador en la superficie posterior del cuerpo del hueso calcáneo
- Quinto metatarsiano: se ubicó un marcador en el borde lateral de la base del quinto metatarsiano, en la prominencia ósea donde se inserta el músculo peroneo lateral corto

- Cuboides: se ubicó un marcador a la altura del hueso cuboides. Para su localización, se trazó una línea entre ambos maléolos, y otra línea perpendicular en dirección al 4º dedo, se midieron 3 cm desde la intersección de estas en dirección al 4º dedo para ubicar este marcador.

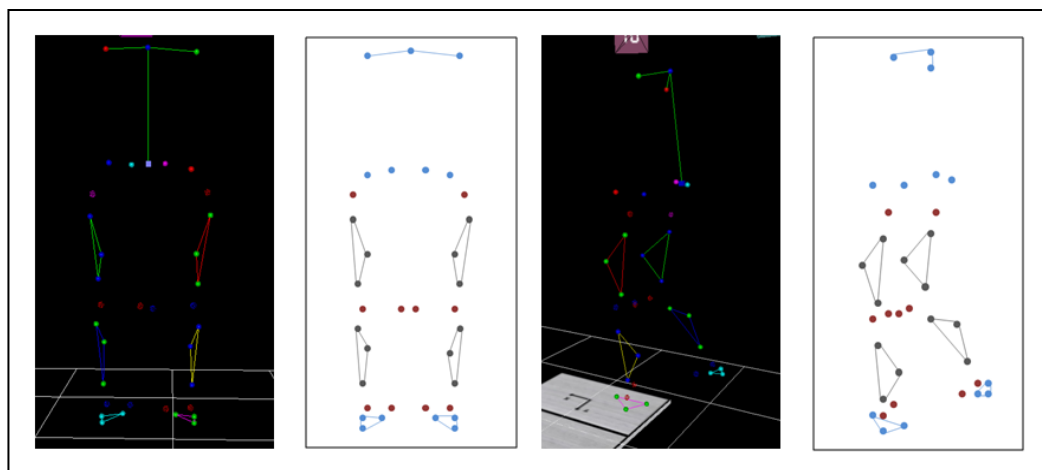


Figura III.8: Modelo biomecánico utilizado en la evaluación de marcha digitalizado

En las dos imágenes de la izquierda se observa el modelo completo durante el registro de una escena de referencia en una vista frontal. En las dos imágenes de la derecha se observa el modelo completo durante un registro de marcha en una vista lateral izquierda y posterior. Los puntos en gris representan los segmentos del muslo y pierna. Los puntos rojos representan las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo. Los puntos en azul representan los puntos óseos cervical, acromion, pelvis y pie.

Procedimiento de grabación

Una vez se realizó el procedimiento de instrumentación, se procedió a la grabación de las valoraciones de marcha. El protocolo de medida no requiere solamente la grabación del paciente caminando, sino también el registro de escenas estáticas que permiten la calibración del modelo. El orden de grabación fue el siguiente:

1. Registro de escena de calibración: el paciente se posicionó de pie en un punto central del área registrada por las cámaras, instrumentado con los marcadores

trocánter, cóndilos, maléolos, muslo y pierna. El tiempo de grabación de esta escena fue de 2 segundos (Figura III.9).

2. Registro de escena de referencia: el paciente se posicionó de pie en un punto central del área registrada por las cámaras, instrumentado con los marcadores trocánter, cóndilos, maléolos, cervical, acromion, pelvis, calcáneo, quinto metatarsiano y cuboides. El tiempo de grabación de esta escena fue de 2 segundos.
3. Registro de medida: se grabó al paciente realizando la prueba de marcha, instrumentado con los marcadores: cervical, acromion, pelvis, muslo, pierna, calcáneo, quinto metatarsiano y cuboides. El tiempo de registro fue el que el paciente tardó en realizar la prueba.

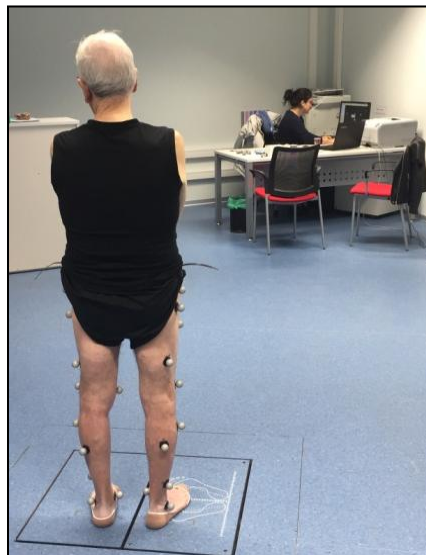


Figura III.9: Registro de escena de calibración del modelo biomecánico

El participante está instrumentado de pie sobre las plataformas dinamométricas. Se observa la mesa de entrevista clínica y el ordenador de trabajo.

Registro de las pruebas de marcha

Una vez se registraron las escenas de calibración y referencia, se procedió al registro de la marcha bajo cinco condiciones: i. condición basal: el paciente caminó sin ninguna tarea secundaria; ii. condición visual: la marcha se desempeñó junto a una tarea cognitiva visual, iii. condición verbal: la marcha se realizó junto a una tarea cognitiva verbal; iv. condición auditiva: la marcha fue realizada junto a una tarea cognitiva auditiva y; v. condición motora: la marcha fue realizada al mismo tiempo que se realizó una tarea motora con los miembros superiores. Antes de comenzar con el registro, los sujetos realizaron algunas repeticiones por el pasillo de marcha para familiarizarse con el entorno y la prueba. El desarrollo de las pruebas siempre comenzó con la condición basal con el objetivo de que el paciente se habituara a la ejecución de la prueba y a las instrucciones; sin embargo, las condiciones de tarea dual fueron aleatorizadas para cada paciente y en cada sesión de valoración (prer rehabilitación, postrehabilitación y seguimiento).

El registro de las repeticiones de marcha se realizó bajo el siguiente protocolo:

- Longitud de recorrido: el espacio que los pacientes debieron recorrer fue un pasillo de diez metros de largo, delimitado en su inicio y su fin por un objeto robusto (caja). Esta longitud de recorrido permitía el registro de pasos centrales entre la aceleración al inicio de la marcha y la desaceleración al final del pasillo (Figura III.10).
- Velocidad: la velocidad requerida durante la prueba fue una velocidad confortable, entendida como la velocidad habitual de marcha realizada por cada participante en su día a día
- Validez de un registro: una repetición consistió en que el paciente debía atravesar el pasillo de marcha desde su punto de inicio hasta el punto final, pasando por una de las plataformas con una pisada completa. Es decir, desde el contacto del talón hasta el despegue de los dedos debía realizarse dentro de una sola plataforma y esa pisada no debía estar contaminada por una segunda pisada del mismo pie o por pisadas parciales o completas del otro pie. De cada

condición de marcha evaluada, se registraron cinco repeticiones con el pie derecho y cinco repeticiones con el pie izquierdo.

- Instrucciones: la instrucción que se dio a los pacientes fue "deberá caminar hacia adelante, sin mirar hacia el suelo, cuando escuche la señal *"ahora"*, a una velocidad confortable e intentando hacer el mejor desempeño posible. El inicio y el final del pasillo están delimitados por un objeto para que pueda seguir una línea recta".

Tareas duales

Como se ha mencionado anteriormente, la valoración de marcha se realizó bajo cinco condiciones distintas. La primera de ellas consistió en una tarea única en la que el paciente solamente debía caminar y, en las cuatro tareas restantes, los participantes desarrollaron una tarea dual, es decir, caminaron al mismo tiempo que desarrollaban una tarea secundaria. En la elección de las tareas secundarias se procuró que fuesen tareas que las personas realizaran en su vida diaria, con el objetivo de evaluar el desempeño de la marcha en las condiciones más habituales para las personas y asegurar la validez externa del experimento.

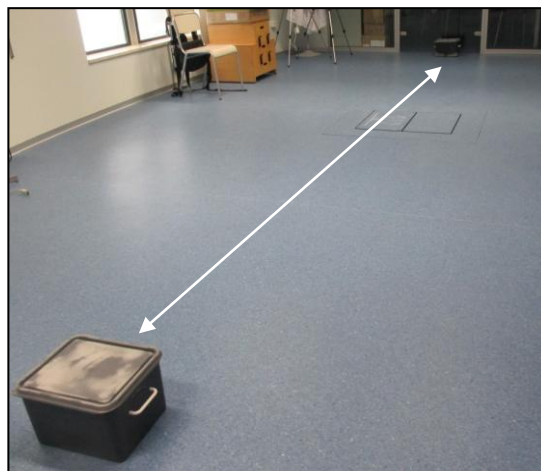


Figura III.10: Pasillo de marcha recorrido en cada condición valorada

A. Tarea secundaria visual

La marcha acompañada de una tarea visual consistió en que el paciente debía caminar al mismo tiempo que miraba un reloj analógico proyectado en la pared (Figura III.11), simulando la actividad de caminar y mirar la hora en un reloj analógico de pulsera, actividad habitual en las personas cuando se camina por la calle. El objetivo de la prueba consistía en que el paciente caminara mientras reconocía las horas que el reloj iba marcando sin hablar. La instrucción que se dio a cada participante fue: "camine mientras observa el reloj proyectado en la pared; debe concentrarse en las horas que señala el reloj e intentar reconocerlas, pero no debe decirlas en voz alta ni memorizarlas". La proyección del reloj en la pared midió 1 m^2 y la frecuencia de cambios de las horas proyectadas fue de 1s. Las luces del laboratorio durante esta prueba fueron atenuadas para facilitar la visibilidad de la proyección.

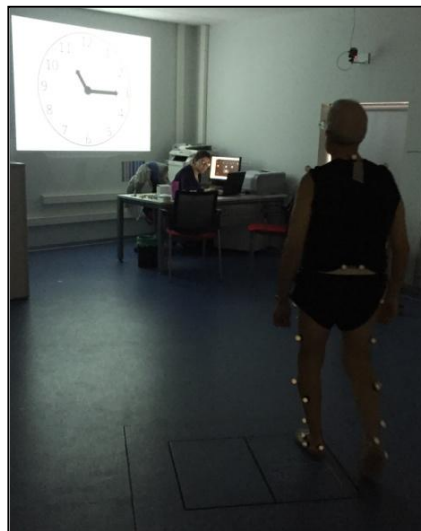


Figura III.11: Registro de una medida de marcha en la condición visual

El paciente camina mientras observa la hora marcada por un reloj analógico proyectado en la pared.

B. Tarea secundaria verbal

En esta prueba los sujetos debían caminar al mismo tiempo que hacían un relato espontáneo de lo que habían hecho en el día anterior, simulando la actividad de caminar junto a una persona (sin mirarla) mientras se mantiene una conversación. Se eligió la tarea de relato espontáneo porque representa una situación probable del día a día, a diferencia de otras tareas verbales referidas en la literatura como nombrar conjuntos de palabras relacionadas a un tema (frutas, nombres, etc.) La instrucción que se le dio a cada participante fue "camine mientras relata lo que hizo ayer desde que le levantó hasta que se acostó; se sugiere que realice el relato con detalles, nombrando cuestiones como la ropa con la que se vistió, lo que fue comiendo durante el día, además de mencionar las actividades que fue realizando".

C. Tarea secundaria auditiva

En la tarea dual auditiva, los participantes tuvieron que caminar mientras escuchaban una grabación de ruidos ambientales. El objetivo de la prueba fue que intentasen reconocer los ruidos mientras caminaban. La grabación estuvo compuesta por sonidos de: coches por una carretera, taladradoras y ruido de una obra, bocinas de coche, gente hablando en un mercado, ruido de un avión, sonidos de animales (perros y gatos), sonidos nocturnos de cigarras y ruido de lluvia al caer. El propósito de colocar ruidos de este tipo, fue simular sonidos habituales que se pueden encontrar cuando se está dentro de casa o caminando por la calle e intentar aislar la tarea cognitiva añadida solamente a un esfuerzo auditivo y de reconocimiento, ya que otro tipo de tareas como escuchar una conversación y entender su contenido, implicaría otras áreas como la del lenguaje. La instrucción que se dio a los participantes fue "camine mientras escucha una serie de ruidos en una grabación, deberá intentar reconocerlos, pero no debe decirlos en voz alta".

D. Tarea secundaria motora

Esta prueba consistió en que el paciente, al mismo tiempo que caminaba, desarrollara una tarea motora con los miembros superiores (Figura III.12). El objetivo de esta prueba

fue simular situaciones cotidianas en las que las personas caminan al mismo tiempo que buscan algo dentro de un bolso, o llevan una serie de objetos en las manos que requieren manipulación y motricidad gruesa, como, por ejemplo, manipular un móvil mientras se carga un bolso de mano u otros objetos. La tarea motora que debían desarrollar consistía en llevar dos vasos de plástico en las manos y trasladar, de uno a otro, 100 gramos de contenido seco (alubias). Si bien ésta no es una tarea motora habitual de la vida diaria, requiere durante toda su ejecución el movimiento de los brazos y la concentración del sujeto para realizar la prueba con éxito, lo que se lograba traspasando todas las alubias de un vaso a otro sin pérdidas de contenido en el tramo del pasillo de marcha.



Figura III.12: Registro de una medida de marcha en la condición motora

El paciente camina mientras realiza una tarea motora secundaria con los miembros superiores.

Este gesto no requiere tareas de planificación como sí lo requeriría, por ejemplo, entrar y manipular las distintas aplicaciones en un móvil o buscar algún número específico para realizar una llamada. El objetivo era aislar lo máximo posible la tarea motora con

los brazos, sin que esta incluyera una tarea de planificación o ejecución muy compleja. La instrucción que se dio a los participantes fue "camine mientras lleva estos dos vasos en la mano, mientras camina, deberá trasladar el contenido de un vaso a otro ininterrumpidamente hasta finalizar el pasillo de marcha".

III.5 Tratamiento de datos y descripción de variables

En este apartado se explican los procedimientos empleados en el tratamiento de las imágenes del análisis cinemático y las señales del registro de fuerzas. Además, se describen las variables extraídas para el análisis de movimiento.

III.5.1 Tratamiento de los registros de marcha

Una vez se registraron las medidas de marcha, se preparó cada repetición con el software Kinescan/IBV para su posterior exportación. Este procedimiento consistió en:

- Delimitación de la medida: se recortó el registro de cada repetición a los segundos útiles que se utilizarían para el análisis y cálculo de variables. Este recorte se hizo alrededor de la zancada central (posterior a la aceleración inicial de la marcha y anterior a la desaceleración antes del frenado), que coincidía con la pisada dentro de la plataforma. Es así como, por regla general, cada delimitación contenía como mínimo tres zancadas completas: zancada central y una zancada anterior y posterior a esta.
- Digitalización de la medida: en esta fase se identificaron, en las imágenes grabadas, los marcadores del modelo biomecánico, es decir, se identificó cada marcador con el punto que representa en el modelo anatómico. De este modo se obtuvieron las coordenadas planas de la posición que ocupaba cada marcador dentro de cada imagen y para cada cámara. La versión utilizada del sistema Kinescan/IBV permitió la digitalización automática de cada medida, lo que solamente requería la identificación de los marcadores del modelo de manera manual en el primer fotograma de cada registro. Aun así se corroboró que, en el

resto de imágenes de cada medida, la digitalización automática realizada por el sistema fuera la correcta. Tras digitalizar los marcadores en toda la secuencia grabada, se obtuvieron las posiciones de estos en un sistema de coordenadas 3D.

- Exportación de coordenadas 3D y magnitudes de fuerzas: una vez digitalizados los registros, se exportaron los datos en función del tiempo (delimitado) en formato archivo de texto (.txt), de manera separada para coordenadas y fuerzas. Cada .txt de coordenadas 3D contenía las posiciones en los ejes x, z, e y de cada marcador en cada fracción de segundo registrado. Por otra parte, cada archivo .txt de fuerzas contenía la magnitud de los vectores vertical, anteroposterior y mediolateral en los mismos segundos de tiempo.

Para el cálculo de variables a partir de los datos exportados se programó una aplicación con Matlab (MathWorks, MA, USA) creada específicamente para el cálculo de variables cinemáticas con el modelo biomecánico descrito en este estudio, a partir de las coordenadas y magnitudes de fuerzas exportadas. La aplicación analiza ambos archivos de texto de un mismo registro y calcula la serie de variables cinemáticas que se explican en este apartado, volcadas en un único archivo excel. Se comprobó que las repeticiones de una misma condición no difiriesen entre sí en velocidad más de un 10% (116). Una vez se tuvieron las repeticiones definitivas de cada condición, se calculó su media para cada variable.

III.5.2 Descripción de las variables analizadas

Antes de describir las variables incluidas en el análisis estadístico, se determinó el lado de predominio de los signos de la EP en cada uno de los participantes. Esto fue necesario porque la EP es una enfermedad que se presenta de manera asimétrica en ambos lados del cuerpo, por lo que analizar las afectaciones haciendo referencia a los lados "derecho e izquierdo" no era adecuado. En lugar de eso, se determinó el hemicuerpo de mayor predominio por los signos de la EP, el cual se denominó como lado A, y el hemicuerpo de menor afectación por los signos de la EP, que se denominó como lado B. Para definir esto se observó el desempeño de ambos hemicuerpos en la longitud de paso realizada

durante la marcha sin tareas duales, siendo el hemicuerpo con menor longitud de paso definido como lado A. El motivo de no basar esta definición en la información aportada por el paciente o en la evaluación clínica de los signos parkinsonianos fue debido a que los pacientes pueden percibir mayor afectación en su lado dominante aun cuando éste no es el que presenta mayor temblor de reposo/rigidez/bracinencia, debido a la percepción de incapacidad en las actividades con la extremidad dominante; por otra parte, los signos parkinsonianos suelen fluctuar durante el día o durante episodios de nerviosismo o estrés a los que pueda enfrentarse el paciente, como lo puede ser una entrevista clínica en un sitio poco habitual. Asimismo, para los participantes sin patología, el lado A estuvo determinado por el hemicuerpo no dominante, y el lado B por el hemicuerpo dominante.

Las variables seleccionadas en este trabajo están en concordancia con la literatura científica existente desarrollada en esta área de investigación y en personas con EP. Tanto la variable longitud de paso como las referentes a ángulos articulares, se registraron en ambos lados del cuerpo. Estas variables son:

- Velocidad: distancia recorrida por el cuerpo por unidad de tiempo, en la dirección considerada. Es expresada en metros por segundo (m/s)
- Longitud de zancada (Lzancada): distancia medida entre dos apoyos consecutivos del mismo pie, que suele ser utilizado como referencia el apoyo del talón. Es expresado en metros (m)
- Duración de zancada (Dzancada): tiempo transcurrido mientras se desarrolla una zancada completa. Es expresado en segundos (s)
- Cadencia: número de pasos ejecutados en un intervalo de tiempo, siendo su unidad más comúnmente adoptada el paso por minuto (pasos/min)
- Tiempo de apoyo bipodal (TAbipodal): corresponde al tiempo en que se produce el contacto con el suelo de ambos pies de manera simultánea dentro de un ciclo de marcha. En un ciclo, existen dos fases de apoyo bipodal de un 10% cada una

(con respecto al ciclo de marcha). En este estudio se han considerado el sumatorio de ambas fases de apoyo bipodal expresado en porcentaje del ciclo (%)

- Longitud de paso (Lpaso): distancia medida en la dirección de progresión, que separa el apoyo inicial de un pie del apoyo inicial del pie contralateral. Si se define la longitud de paso izquierdo, esta estaría definida como la distancia medida entre el contacto de talón del pie derecho y el contacto de talón del pie izquierdo. Expresada en metros (m)
- Dorsiflexión máxima de la articulación de tobillo en fase de oscilación (DSFtob): máximo ángulo alcanzado de dorsiflexión de tobillo durante la fase de oscilación (Figura III.13.a), expresado en grados (°)
- Rango de tobillo en el plano sagital (ROMtob): rango de movimiento de la articulación de tobillo en el plano sagital, representado por el movimiento de flexión plantar y flexión dorsal del pie. Se expresa en grados (°). El rango de la articulación de tobillo en el plano sagital queda definido por el máximo ángulo de flexión dorsal en fase de apoyo y el máximo ángulo de flexión plantar en fase de oscilación (Figura III.13.b)
- Flexión máxima de la articulación de rodilla en fase de oscilación (FLEXrod): máximo ángulo alcanzando de flexión de rodilla durante la fase de oscilación (Figura III.13.c), expresado en grados (°)
- Extensión máxima de la articulación de cadera en fase de apoyo (EXTcad): máximo ángulo alcanzado de extensión de cadera durante la fase de apoyo (Figura III.13.d), expresado en grados (°)
- Flexión máxima de la articulación de cadera en fase de oscilación (FLEXcad): máximo ángulo alcanzado de flexión de cadera durante la fase de oscilación (Figura III.13.d), expresado en grados (°)

- Frontal Assessment Battery (FAB): puntuación obtenida en la prueba de evaluación cognitiva FAB. Una puntuación alta corresponde a un mejor desempeño durante la prueba
- Trail Making Test A y B (TMT_{A-B}): tiempo (expresado en segundos) empleado en realizar ambas partes de la prueba de evaluación de funciones cognitivas ejecutivas (TMT_A y TMT_B). Un menor tiempo empleado se corresponde con un mejor desempeño durante la prueba

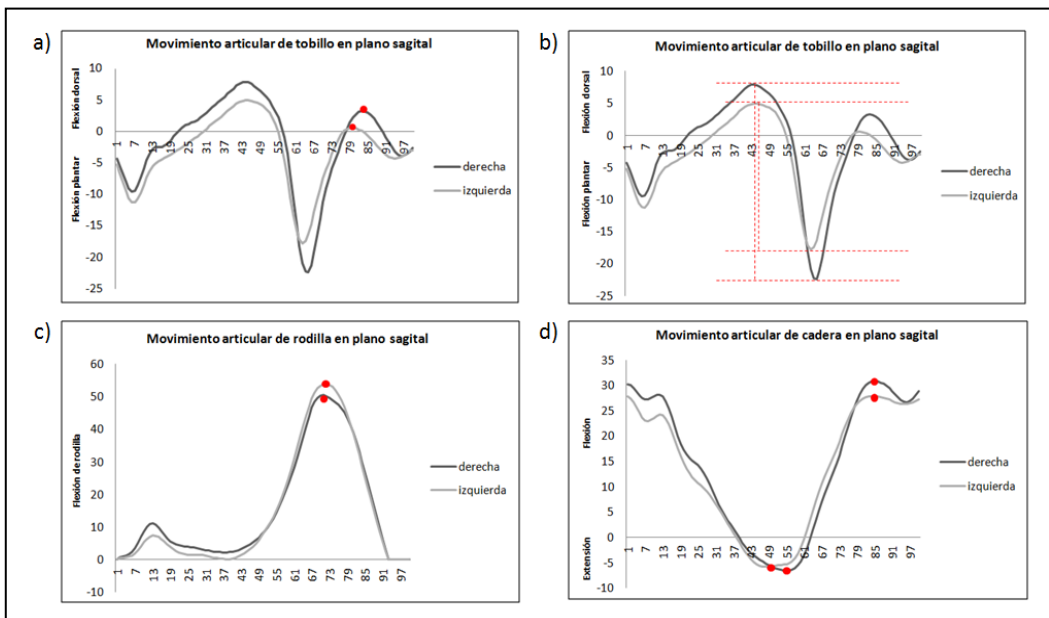


Figura III.13: Gráficas de movimiento en el plano sagital de las articulaciones evaluadas durante el ciclo de marcha

La marca en rojo señala: a) ángulo de dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación, b) rango de tobillo en plano sagital, c) ángulo de flexión máxima de rodilla en fase de oscilación, d) ángulo de extensión máxima de cadera en fase de apoyo y ángulo de flexión máxima de cadera en fase de oscilación.

- Dynamic Parkinson Gait Scale (DYPAGS): puntuación obtenida de la evaluación clínica funcional de marcha específica para personas con EP. Puntuaciones pequeñas indican un mejor desempeño en la realización de la escala DYPAGS.

- Tinetti Mobility Test, *Balance* y *Gait*: Puntuación obtenida en la escala de evaluación clínica de marcha y equilibrio TMT. De esta prueba se obtuvieron tres puntuaciones que se corresponden al resultado total del test (Tinetti_{TOTAL}), a la puntuación obtenida de la sub parte que evalúa equilibrio (Tinetti_B) y una tercera puntuación obtenida de la sub parte que evalúa marcha (Tinetti_G). En los tres resultados, una puntuación alta indica un mejor desempeño durante el test
- Timed Up and Go Test (TUG): tiempo (expresado en segundos) de ejecución de la prueba TUG. Un menor tiempo empleado representa un mejor desempeño en la realización del test
- Parkinson's Disease Questionnaire (PDQ-39): puntuación obtenida en la escala de percepción de calidad de vida debida a la enfermedad de Parkinson PDQ-39. Una menor puntuación indica una mejor percepción de calidad de vida.

III.6 Programa de rehabilitación experimental

Después de la revisión bibliográfica realizada, se definió el programa de rehabilitación a desarrollar en el grupo experimental. En él se rehabilitó la marcha de las personas con EP dentro de un contexto de tareas duales. El principio de la rehabilitación diseñada fue el entrenamiento de ambas tareas (marcha y cognitiva/motora) de manera separada para luego ejecutarlas de manera conjunta bajo un sistema de progresión. La dosificación del entrenamiento propuesto en esta investigación se muestra en la Figura III.14. Cada sesión fue de una hora, realizada dos veces por semana, sumando en total 20 sesiones a lo largo de 10 semanas.

Los pacientes no habían realizado ningún tipo de rehabilitación en los últimos dos meses o realizaban terapia física por primera vez desde la fecha de diagnóstico de EP. Cada sesión de entrenamiento constaba de tres partes: fase inicial de calentamiento, fase central de entrenamiento de marcha dual y fase de vuelta a la calma, tal y como se muestra en la figura III.14. A continuación, se explican los materiales utilizados en las sesiones de rehabilitación, así como el procedimiento y contenido de las mismas.

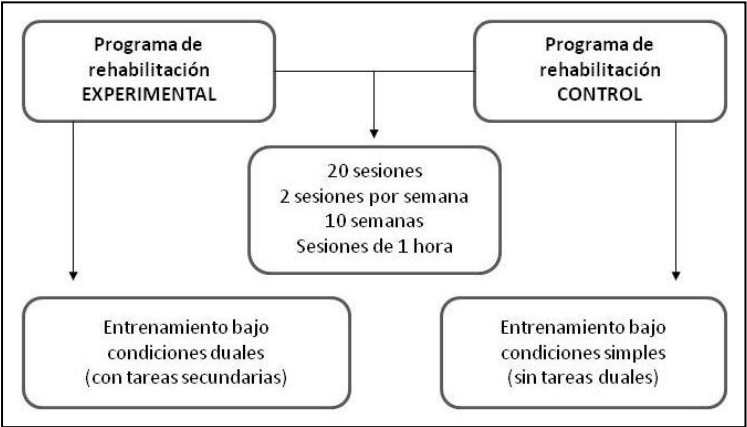


Figura III.14: Características de los programas de rehabilitación experimental y control

III.6.1 Material del programa de rehabilitación

En la tabla III.2 se describen los materiales físicos utilizados en el programa de rehabilitación propuesto en este estudio, clasificados según las fases dentro de una sesión de rehabilitación. Parte del material descrito fue proporcionado por la Asociación Parkinson Valencia, mientras que algunos elementos utilizados en la rehabilitación de marcha dual fueron elaborados por el equipo de investigadores de este estudio.

Tabla III.2: Materiales utilizados en el programa de rehabilitación experimental

Nombre	Descripción
FASE INICIAL DE CALENTAMIENTO	
Esterillas	Alfombra de ejercicios de 2 x 0,6 x 0,02 m utilizada para trabajo en suelo
Cojines	Almohadas de 50x50 cm utilizadas para ubicar bajo la cabeza o rodillas durante el trabajo en suelo
Sillas	Sillas con respaldo y apoya brazos
Balones	Balones tipo baloncesto
Espalderas	Escalera de madera anclada en la pared para utilizar en ejercicios que requieren sujeción con las manos
Bandas elásticas	Bandas elásticas de látex con distintas resistencias (suave, media, fuerte y extrafuerte) utilizadas en ejercicios de amplitud de movimiento, estiramiento y contra resistencia

Tabla III.2: Materiales utilizados en el programa de rehabilitación experimental (continuación)

FASE CENTRAL DE ENTRENAMIENTO DE MARCHA DUAL	
<i>Materiales utilizados en el entrenamiento de marcha</i>	
Marca pasos	Cintas de 10 m de largo y 0,15 m de ancho de cartón plastificado graduadas con distintas longitudes de paso. Se confeccionaron 5 unidades para cada longitud: 40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm y 80 cm
Metronomo	Aplicación informática programable a distintas cadencias que emite una señal sonora para marcar los tiempos definidos. Se utilizaron cadencias desde 0,90 m/s a 1,5 m/s
Barras de apoyo	Se utilizaron barras paralelas ancladas al suelo con pasillo de 60 cm de ancho, así como también barras ancladas a la pared utilizadas para el apoyo con una sola mano
Bastones	Palos de madera de 1 m de largo utilizados en diversos ejercicios de coordinación
Sillas	Sillas con respaldo y reposa brazos
Balones	Balones tipo baloncesto
Esterilla	Alfombra de ejercicios de 2m de largo por 0,6 m de ancho y 2 cm de espesor utilizada para trabajo en suelo
Cojines	Almohadas de 50x50 cm utilizadas para ubicar bajo la cabeza o rodillas durante el trabajo en suelo
<i>Materiales utilizados en el entrenamiento con tareas secundarias</i>	
Ordenador	Ordenador portátil con herramientas informáticas básicas
Altavoces	Equipo de dos altavoces conectables al ordenador
Proyector	Equipo de proyección de imágenes compuesto por pantalla plegable y proyector
Secuencia de audios	Secuencia de audios con distintos sonidos utilizados en el entrenamiento dual de marcha con tareas auditivas (ejemplo: sonidos de campanas, puertas, ambientes, etcétera)
Objetos de manipulación	Folios, estuches con fichas de plástico imitando monedas, vasos de plástico, semillas, bandejas plásticas, balones
FASE FINAL DE VUELTA A LA CALMA	
Espaldera	Escalera de madera anclada en la pared para utilizar en ejercicios que requieren sujeción con las manos
Esterilla	Alfombra de ejercicios de 2m de largo por 0,6 m de ancho y 2 cm de espesor utilizada para trabajo en suelo
Cojines	Cojín de 50x50 cm utilizadas para ubicar bajo la cabeza o rodillas durante el trabajo en suelo

III.6.2 Procedimientos de la rehabilitación

En este apartado se detalla la estructura de las sesiones de rehabilitación del programa propuesto por este estudio y realizado por el grupo de pacientes experimental, así como el contenido de cada parte de estas. La rehabilitación control incluye los mismos ejercicios que a continuación se describen pero sin tareas cognitivas ni tareas ejecutadas de manera dual.

III.6.2.1 Fase inicial: calentamiento

La rehabilitación física de las personas con EP requiere el abordaje de distintos objetivos, además de la marcha. En la fase de calentamiento, a lo largo de las sesiones, se abordó el tratamiento del resto de alteraciones propias de la enfermedad (Tabla III.3). Estos objetivos de tratamiento se acordaron con los fisioterapeutas encargados de la aplicación de la rehabilitación del grupo control, en función de las necesidades de los pacientes y según los estadios de la enfermedad en la que se encontraban. Los ejercicios seleccionados se cumplieron tanto en el tratamiento experimental como en el tratamiento control. El tiempo en cada sesión de rehabilitación destinado a la fase de calentamiento fue de 15 minutos al inicio de la sesión.

Tabla III.3: Resumen de los ejercicios abordados en la fase de calentamiento




Descripción	Figura
<p>1. Ejercicios respiratorios</p> <p>Se realizaron ejercicios de respiración diafragmática en posición decúbito supino, sedestación, bipedestación y en movimiento. El objetivo era priorizar la utilización del músculo diafragma en la inspiración y de la musculatura abdominal en la espiración. Además, se educó acerca de la respiración torácica mixta.</p>	
<p>2. Disociación de cintura escapular y pélvica</p> <p>Los movimientos de disociación de las cinturas escapular y pélvica se realizaron en posición decúbito supino, sedestación, bipedestación y en movimiento. El objetivo principal de estos ejercicios implica rotaciones alternantes de ambos sistemas que se realizaron de manera individual, en pareja y con diversos elementos.</p>	
<p>3. Transferencias y cambios posturales</p> <p>El modo de rehabilitación de las transferencias fue disociando el movimiento en hitos puntuales. Así se entrenó: el desplazamiento en posición supina, el cambio de posición supina a decúbito lateral, el cambio de posición supina a sedente y bípedo, así como también el cambio de posiciones altas a posiciones bajas.</p>	

Tabla III.3: Resumen de los ejercicios abordados en la fase de calentamiento (continuación)

Descripción	Figura
<p>4. Movilidad articular</p> <p>Se realizaron ejercicios de movilidad o higiene articular en diferentes planos de movimiento de las extremidades superiores e inferiores, el tronco, la cabeza y el cuello en diferentes modalidades: en cadena cinemática abierta/cerrada, en diferentes posiciones y con elementos como bastones, cintas y balones.</p>	
<p>5. Ejercicios de equilibrio</p> <p>Se basaron en el movimiento controlado del centro de gravedad y la exploración de los límites de estabilidad. Se utilizaron diferentes modalidades como cambios de posiciones, con ayuda de elementos de apoyo, ejercicios en pareja y alteración de la propiocepción bajo los pies.</p>	
<p>6. Ejercicios de fortalecimiento</p> <p>Se realizaron diferentes ejercicios de fortalecimiento de la musculatura de miembros superiores e inferiores con resistencia inespecífica mediante control voluntario de la contracción de la musculatura y utilización de elementos como cintas elásticas y balones.</p>	

En la tabla se describe el contenido de los ejercicios de la fase de calentamiento y se muestra una imagen de un grupo de personas con enfermedad de Parkinson realizando el ejercicio descrito.

III.6.2.2 Fase central: entrenamiento dual de marcha

El programa experimental tuvo como objetivo el entrenamiento de la marcha y de tareas cotidianas, para luego ejecutarlas de manera simultánea, generando en la rehabilitación un contexto funcional. La fase central de cada sesión fue de 45 minutos y quedó definida por tres partes: i. rehabilitación de la tarea primaria: marcha; ii. rehabilitación de la tarea secundaria: actividad cognitiva o motora de MMSS; iii. rehabilitación dual: ejecución simultánea de la tarea primaria y secundaria. Para el entrenamiento de la marcha y de las de las tareas cognitivas / motoras, se desarrollaron una serie de ejercicios enfocados a un aspecto específico que fueron practicados en distintos niveles de dificultad, descritos en la Figura III.15. Además, en las tareas secundarias, se estableció una progresión de la postura en que el paciente practicaba la tarea cognitiva o motora: sedestación, bipedestación y posteriormente, realizando marcha estática.

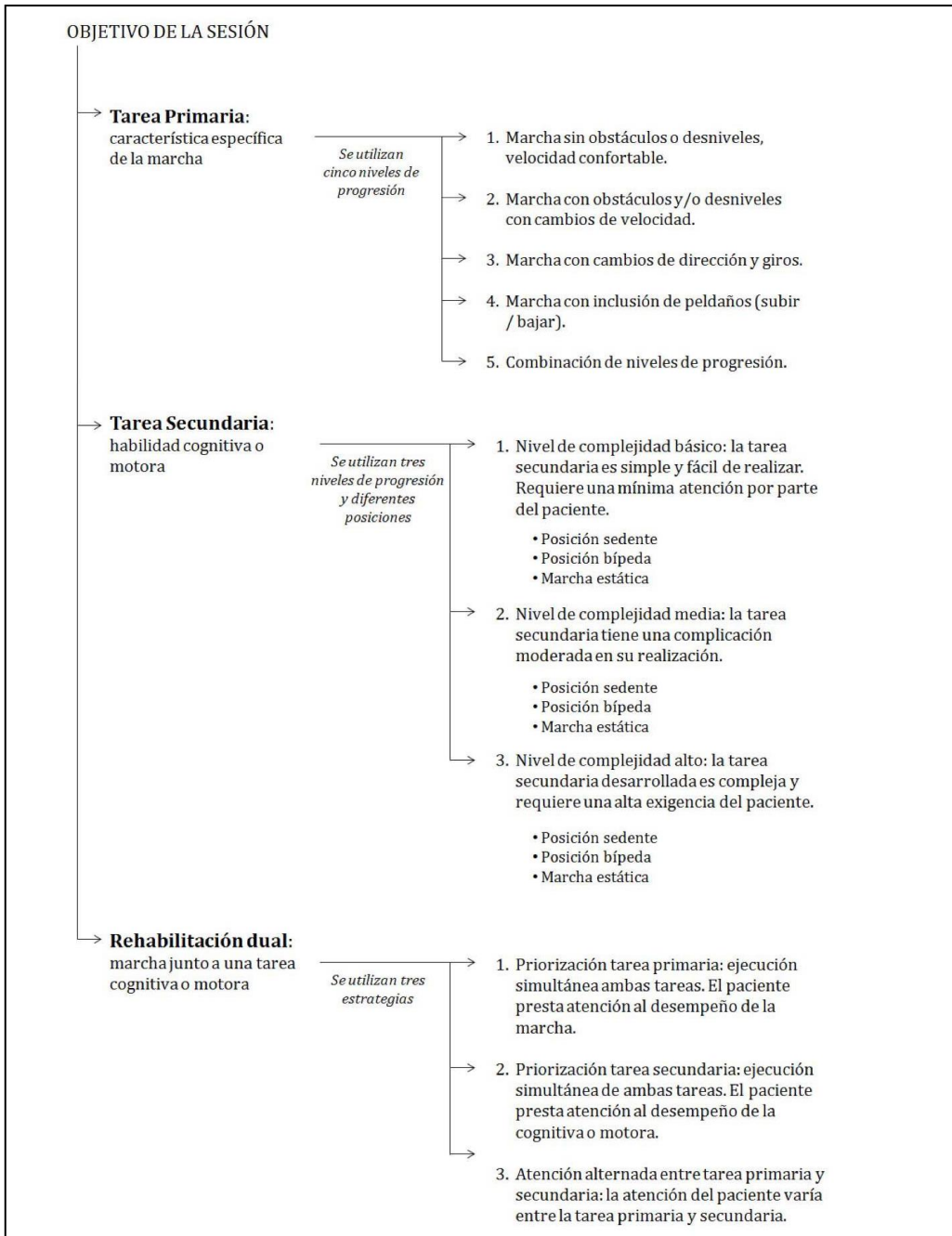


Figura III.15: Esquema general de trabajo en la fase central de marcha en una sesión de rehabilitación

Se observan los niveles de progresión diseñados para los objetivos de marcha (tarea primaria), para la tarea secundaria y las estrategias utilizadas en entrenamiento dual o simultáneo.

Tarea primaria

El entrenamiento de marcha consistió en mejorar una característica concreta alterada en la EP. Siguiendo las etapas del aprendizaje motor, la principal estrategia para la toma de conciencia del movimiento fue a través de señales externas e internas. Estas constituían una guía objetiva para que el paciente modificara los distintos aspectos (por ejemplo, velocidad o longitud de paso) a los rangos deseados. A continuación, se detallan las estrategias utilizadas y las características de la marcha que fueron objetivo del programa de rehabilitación propuesto (Tabla III.4).

- Señales externas: se utilizaron elementos físicos que indicaban a los pacientes cómo desarrollar un determinado ejercicio:
 - Señales externas visuales: se componían de marcas en el suelo del lugar donde se desarrollaba la sesión de rehabilitación. Comúnmente se utilizaban huellas adhesivas que delimitaban la longitud del paso al que el sujeto debía llegar. En este programa se utilizó una cinta en la que estaban marcadas las distancias que el paciente debía lograr con cada paso que daba mientras caminaba. Esto permitió un entrenamiento progresivo de la longitud de zancada hasta los valores descritos en sujetos normales adecuados para cada talla
 - Señales externas auditivas: los participantes siguieron la señal sonora que emitía un metrónomo a una cadencia determinada, de este modo se marcó la velocidad de paso de entrenamiento
 - Señales externas verbales: los participantes siguieron indicaciones verbales dadas por el fisioterapeuta durante el desarrollo de un ejercicio. Por ejemplo, el uso de la palabra "arriba" cuando se deseaba que los pacientes enfatizaran la flexión de rodilla durante un determinado ejercicio
- Señales internas: se enseñó a los pacientes a tener sus propias señales o instrucciones para lograr un determinado objetivo. De manera mental el paciente se daba a sí mismo una instrucción o clave verbal para recordar un determinado ejercicio o para coordinar un movimiento.

Tabla III.4: Descripción de los ejercicios de marcha utilizados en el programa de rehabilitación experimental



ASPECTOS ESPACIO-TEMPORALES	
1. Longitud de paso	
<p>Se entrenaron diferentes longitudes de paso (con señales externas) de manera progresiva desde 40 a 80 centímetros. Dentro de la sesión grupal, se personalizó la longitud de cada paciente debido a las diferentes alturas y estadios de la enfermedad. Se comenzó con longitud de paso en un trayecto llano, para luego ir incluyendo de manera progresiva cambios en la cadencia, giros de noventa grados, obstáculos y escalones. Se utilizaron señales externas visuales fijadas en el suelo.</p>	
<div></div>	
2. Cadencia / Velocidad	
<p>El entrenamiento de la velocidad se realizó a través del control de cadencias de pasos definida con un metrónomo (<i>bips</i> por minuto, bpm). Como además se controlaba la longitud de paso, las velocidades trabajadas en el programa de rehabilitación fueron las siguientes:</p>	
<ul style="list-style-type: none">60 bpm: 0,4 m/s (con 0,4 m de paso) 0,5 m/s (con 0,5 m de paso) 0,6 m/s (con 0,6 m de paso) 0,7 m/s (con 0,7 m de paso) 0,8 m/s (con 0,8 m de paso)	<ul style="list-style-type: none">70 bpm: 0,46 m/s (con 0,4 m de paso) 0,58 m/s (con 0,5 m de paso) 0,7 m/s (con 0,6 m de paso) 0,82 m/s (con 0,7 m de paso) 0,93 m/s (con 0,8 m de paso)
<ul style="list-style-type: none">80 bpm: 0,53 m/s (con 0,4 m de paso) 0,66 m/s (con 0,5 m de paso) 0,8 m/s (con 0,6 m de paso) 0,93 m/s (con 0,7 m de paso) 1,06 m/s (con 0,8 m de paso)	<ul style="list-style-type: none">90 bpm: 0,6 m/s (con 0,4 m de paso) 0,75 m/s (con 0,5 m de paso) 0,9 m/s (con 0,6 m de paso) 1,05 m/s (con 0,7 m de paso) 1,2 m/s (con 0,8 m de paso)
<ul style="list-style-type: none">100 bpm: 0,66 m/s (con 0,4 m de paso) 0,83 m/s (con 0,5 m de paso) 1 m/s (con 0,6 m de paso) 1,16 m/s (con 0,7 m de paso) 1,33 m/s (con 0,8 m de paso)	<ul style="list-style-type: none">110 bpm: 0,73 m/s (con 0,4 m de paso) 0,91 m/s (con 0,5 m de paso) 1,1 m/s (con 0,6 m de paso) 1,28 m/s (con 0,7 m de paso) 1,46 m/s (con 0,8 m de paso)
<ul style="list-style-type: none">120 bpm: 0,8 m/s (con 0,4 m de paso) 1 m/s (con 0,5 m de paso) 1,2 m/s (con 0,6 m de paso)	<ul style="list-style-type: none">1,4 m/s (con 0,7 m de paso) 1,6 m/s (con 0,8 m de paso)
3. Marcha lateral	
<p>Se realizaron ejercicios de marcha lateral con longitudes de paso desde 40 a 80 cm señalizadas en el suelo. Se personalizó el trabajo de cada paciente según su altura y el estadio de la enfermedad en que se encontrara.</p>	

Tabla III.4: Descripción de los ejercicios de marcha utilizados en el programa de rehabilitación experimental (continuación)

ASPECTOS ESPACIOTEMPORALES

3. *Marcha lateral*



ASPECTOS CINEMÁTICOS

1. *Hitos de la marcha en fase de apoyo*

Se enseñó a los pacientes los hitos de la marcha en la fase portante o de apoyo a través de una serie estandarizada de movimientos: *apoyo de talón* - *apoyo medio* - *punta de pie*. Se utilizaron señales externas verbales y auditivas, además de señales internas, para enfatizar los ángulos articulares durante el aprendizaje del movimiento de tobillo en esta fase. Se practicó la secuencia de manera estática con apoyo lateral, durante la marcha a longitud y velocidad libre y, durante la marcha a longitud y cadencia controlada.



2. *Hitos de la marcha en fase de oscilación*

Se trabajaron los hitos de la marcha en fase oscilación mediante el control de la movilidad de tobillo, rodilla y cadera. Estos hitos se desglosaron en una serie estandarizada de movimientos: *elevación de rodilla* (flexión de cadera y rodilla simultánea) - *dorsiflexión plantar máxima* - *apoyo de talón*. Se utilizaron señales externas verbales y auditivas, además de señales internas, para enfatizar los ángulos articulares durante el aprendizaje del movimiento de miembros inferiores en esta fase. Se practicó la secuencia de manera estática con apoyo lateral, durante la marcha a longitud y velocidad libre y durante la marcha a longitud y cadencia controlada.



Tabla III.4: Descripción de los ejercicios de marcha utilizados en el programa de rehabilitación (continuación)

3. *Braceo*

Se realizaron ejercicios para promover el braceo durante la marcha coordinado con el movimiento de cadera, en donde el paso es acompañado del brazo contra lateral. Se practicó sin y con control de la longitud de paso y la velocidad, de forma estática y dinámica utilizando diferentes modalidades: i. en parejas se sostenían dos bastones a cada lado mientras se exageraba el braceo llevando los bastones tan adelante/atrás como fuera posible; ii. de manera individual se acentuó el braceo coordinado con el movimiento de cadera durante la marcha en pasillo definido.



4. *Control del patrón flexor durante la marcha*

Se contrarrestó la postura de flexión generalizada observada en la EP (i.e. flexión de cuello, anteversión de hombros, rectificación de columna lumbar y retroversión pélvica) favoreciendo la postura erguida durante diferentes actividades, incluida la marcha. Se practicó la postura de ligera extensión de cuello (con mirada al frente), retroversión de hombros y anteversión pélvica en diferentes posiciones (sedente, bípedo y durante la marcha) mientras se realizaban actividades con los brazos mediante elementos como cintas y balones, facilitando la movilidad de los brazos por encima y detrás de la cabeza. Cuando se practicó la posición erguida durante la marcha, se hizo con y sin control de la longitud de paso y de la velocidad.



5. *Movilidad de ángulos articulares y disociación escapular / pélvica*

Se trabajó la amplitud de los rangos articulares de miembros inferiores en los distintos planos de movimiento y la disociación de la cintura escapular y pélvica en distintas posiciones (supino, sedestación, bipedestación). Estos ejercicios fueron variados en modalidad y se utilizaron distintos elementos que facilitaran la amplitud de rango articular.

Tabla III.4: Descripción de los ejercicios de marcha utilizados en el programa de rehabilitación (continuación)

5. Movilidad de ángulos articulares y disociación escapular / pélvica



Se describen los ejercicios realizados para el entrenamiento de la marcha en la fase central de las sesiones de rehabilitación experimental. Además, se acompaña con una imagen de las personas con enfermedad de Parkinson realizando el ejercicio descrito.

Tarea secundaria

Una se vez se realizó el entrenamiento de los objetivos de marcha, se procedió a la práctica aislada de la tarea secundaria, conformada por una serie de tareas cognitivas y motoras con los miembros superiores. El criterio de selección de las tareas secundarias fue que estas se presentaran en situaciones cotidianas durante la marcha. En algunos casos, para aumentar la complejidad de la tarea, se utilizaron actividades poco usuales pero que requerían una mayor concentración por parte del paciente. La serie de tareas cognitivas y/o motoras se describen en la tabla III.5.

Tabla III.5: Descripción de las tareas cognitivas y motoras entrenadas durante el programa de rehabilitación

<i>Tipo de tarea</i>	<i>Nivel de complejidad</i>
1. Fluidez verbal	Nivel básico: realizar una lista de palabras definidas por un tema (e.g. ciudades)
	Nivel medio: expresar un relato que requiera leve nivel de planificación (hacer una lista de compra, indicar una dirección o dar una definición corta de un concepto, etcétera)
	Nivel alto: confeccionar una respuesta a preguntas complejas (¿cómo definirías la felicidad?, ¿cómo se prepara un plato de comida en concreto?, ¿para qué sirve un ordenador?, etcétera)
2. Reconocimiento auditivo	Nivel básico: identificar la naturaleza de sonidos en una secuencia auditiva pre-grabada (sonidos de animales, de la naturaleza, de medios de transporte, etcétera)
	Nivel medio: reconocer de una serie de sonidos, el tipo de sonido que más se reproduce o contabilizar algún sonido específico previamente indicado, en una serie pregrabada
	Nivel alto: identificar el tema o contenido de una conversación pre-grabada.
3. Reconocimiento visual	Nivel básico: identificar figuras en una secuencia proyectada o identificar la relación de una serie de figuras
	Nivel medio: realizar un reconocimiento de figuras o número de apariciones en imágenes que contengan más de una figura al mismo tiempo
	Nivel alto: identificar conceptos o figuras en una serie de imágenes incluyendo distractores (por ejemplo, identificar palabras en color rojo aún cuando estas expresaran colores diferentes) / identificar una instrucción en formato de texto.
4. Cálculo matemático	Nivel básico: secuencia de sumas o restas de un dígito
	Nivel medio: secuencia de sumas/restas de dos dígitos
	Nivel alto: secuencia de sumas, restas, divisiones y/o multiplicaciones de dos o más dígitos
5. Memoria	Nivel básico: memorizar un relato o lista de <10 palabras relacionadas entre sí
	Nivel medio: memorizar un relato o listado de más de 10 palabras y <20, relacionadas entre sí o no
	Nivel alto: memorizar un relato >20 palabras (por ejemplo, un nombre y una dirección, un párrafo con una idea o contenido determinado no aleatorio)
6. Planificación visuo-espacial	Nivel básico: describir en pasos cómo llegar a un lugar determinado
	Nivel medio: describir cómo llegar desde un sitio a otro que requiera una planificación de hasta 10 pasos
	Nivel alto: describir cómo llegar desde un sitio a otro que requiera una planificación de más de 10 pasos, incluyendo un medio de transporte
7. Tarea motora: motricidad fina	Nivel básico: Extraer objetos de fácil agarre de bolsillos o bolso de mano
	Nivel medio: manipular un objeto que requiera un procedimiento de maniobra (por ejemplo, buscar un número de contacto, doblar un folio en varias partes)
	Nivel alto: Extraer objetos pequeños (monedas) de bolsillos o bolsos
8. Tarea motora: manipulación del dinero	Nivel básico: recuento de monedas de 1 euro
	Nivel medio: Recuento de monedas diferentes desde un monedero
	Nivel alto: Recuento de monedas de todos los valores desde un monedero

Tabla III.5: Descripción de las tareas cognitivas y motoras entrenadas durante el programa de rehabilitación (continuación)

9. Tarea motora: transporte	Nivel básico: Trasladar un vaso en cada mano con contenido sólido
	Nivel medio: Trasladar una bandeja con dos vasos con contenido sólido dentro
	Nivel alto: Trasladar una bandeja con varios vasos con contenido sólido dentro
10. Tarea motora: transferencia de un objeto a otra persona	Nivel básico: lanzar un balón de tamaño medio en parejas
	Nivel medio: traspaso en parejas de un objeto de tamaño medio/pequeño (bolso de mano o monedero)
	Nivel alto: traspaso en parejas de un objeto que requiera una manipulación específica (un vaso, bolso de mano, carpeta)

Descripción de las tareas secundarias entrenadas, de manera individual y como tarea secundaria a la marcha, en el programa de rehabilitación experimental.

Rehabilitación simultánea

Una vez se entrenó la tarea primaria y secundaria de manera aislada, se integraron ambas tareas en un único ejercicio, con el objetivo de que los pacientes lograran realizar la tarea primaria de forma automática mientras enfocaban su atención a la tarea secundaria (Figura III.16). El procedimiento empleado para llevar a cabo la simultaneidad de tareas fue el siguiente:

- Entrenamiento dual con atención en la tarea primaria: se realizaban ambas tareas priorizando la atención y desempeño en la marcha. Por ejemplo, si en la sesión se ha trabajado la longitud de paso y la memoria, se instruye al paciente para que priorice su atención en lograr las longitudes de paso definidas
- Entrenamiento dual con atención en la tarea secundaria: se realizaban ambas tareas priorizando la atención y desempeño en la tarea secundaria
- Entrenamiento dual con alternancia de atención: se instruye al paciente para que alterne la atención entre una tarea y otra. En esta parte se incluyeron cambios en el patrón de marcha para favorecer la alternancia de atención (giros, cambios de velocidad, evadir obstáculos).

En los ejercicios de marcha, se utilizaron señales externas cuando procedía, para luego quitarlas de forma paulatina. Cuando los pacientes no prestaban atención a la tarea de

marcha, el fisioterapeuta verificaba que el ejercicio se realizara con éxito o dentro de los parámetros definidos para el objetivo a entrenar.







Figura III.16: Entrenamiento dual de marcha

Los participantes entrenan la longitud de paso con señales visuales externas mientras transportan un balón y lo traspasan a otro compañero que camina en dirección contraria.

III.6.2.3 Fase final: vuelta a la calma

La fase final de vuelta a la calma duraba cinco minutos y en ella se realizaban ejercicios de estiramiento muscular de las extremidades, el tronco, la cabeza y el cuello. Al igual que en la fase de calentamiento, los ejercicios de estiramiento muscular fueron pautados con los fisioterapeutas encargados de la rehabilitación del grupo control. Las condiciones generales de los estiramientos realizados fueron: i. tiempo de estiramiento mayor a 6 segundos (23); ii. mantenimiento del estiramiento con sensación de tensión, no dolor; iii. estiramientos coordinados con la respiración, específicamente con el tiempo espiratorio. La descripción de los estiramientos realizados se menciona en la Tabla III.6.

Tabla III.6: Resumen de los estiramientos realizados en la fase de vuelta a la calma

Descripción	Figura
<p>1. Estiramientos musculatura de MMSS</p> <p>Se priorizaron los estiramientos de los flexores de miembro superior: músculo pectoral mayor, bíceps braquial, flexores del carpo, de los dedos y del pulgar. El estiramiento de la cadena muscular se realizó de manera global con ayuda de elementos externos como la escalera de dedos y/o la pared.</p>	
<p>2. Estiramientos musculatura de MMII</p> <p>Se realizaron estiramientos tanto de la musculatura flexora como extensora de miembro inferior. El músculo cuádriceps se estiró en posición bípeda. La musculatura posterior (isquiotibiales y tríceps sural) se estiró en posición bípeda apoyando el pie en la pared con ligera dorsiflexión de tobillo, para luego inclinar el tronco hacia adelante.</p>	
<p>3. Estiramientos musculatura de cabeza y cuello</p> <p>Los estiramientos de cabeza y cuello se realizaron en posición bípeda manteniendo la flexión lateral de cabeza, rotación máxima hacia el lado de la flexión y el descenso de la cabeza humeral contraria. Se realizó extensión y flexión máxima de cuello en posición sedente.</p>	
<p>4. Estiramientos de musculatura de columna</p> <p>La elongación de la musculatura posterior y extensora de columna se realizó en posición supina, cuadrupedia y en bipedestación con flexión máxima de hombro apoyados sobre la escalera de manos.</p>	

Se describen los estiramientos realizados al final de cada sesión del programa de rehabilitación experimental. En cada ejercicio descrito se muestra una imagen de un grupo de personas con enfermedad de Parkinson realizando el estiramiento propuesto.

III.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico fue desarrollado con el software IBM SPSS Statistics versión 24.0.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) para el sistema operativo Windows, bajo licencia de la Universitat de València.

En el presente proyecto de investigación se realizaron dos estudios con propósitos diferenciados. El primero tenía por objetivo analizar las diferencias encontradas en la biomecánica de la marcha entre pacientes con EP y personas sanas, tanto antes de la intervención, como tras esta (Figura III.17).

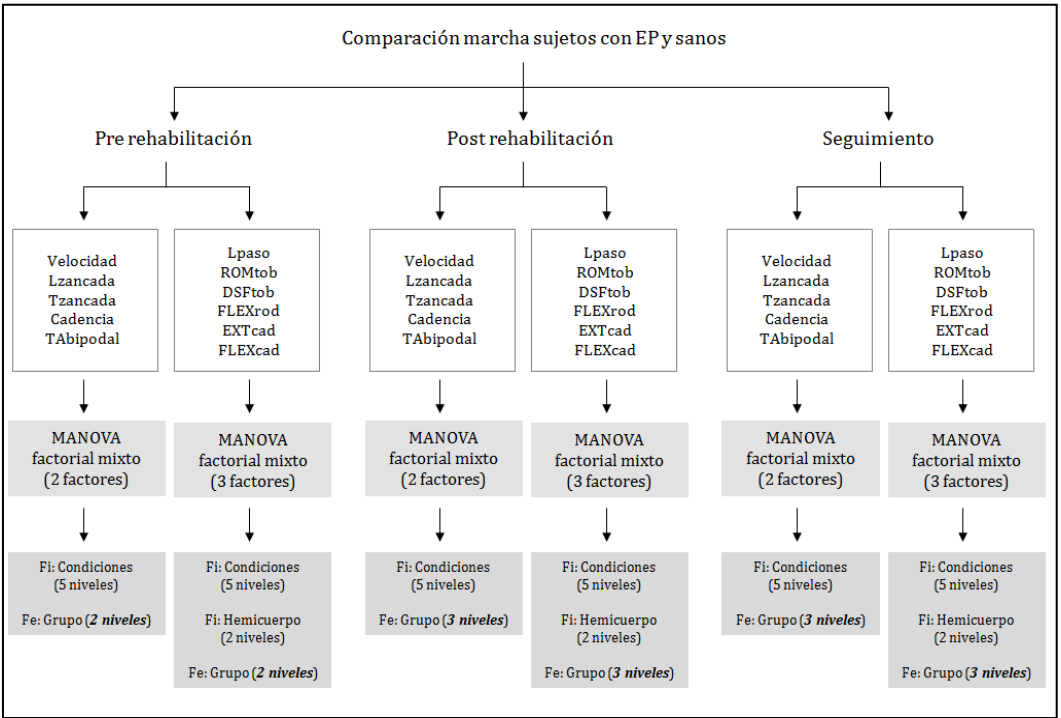


Figura III.17: Análisis estadísticos utilizados para el estudio de la comparación entre personas con EP y sanos, según las variables obtenidas

El segundo consistía en analizar el efecto del programa de rehabilitación empleado sobre la biomecánica de la marcha comparando los resultados de las personas que recibían un tratamiento convencional (GC) y del obtenido tras la aplicación de uno experimental (GE), así como analizar este efectos sobre las variables obtenidas de los test y escalas clínicas (Figura III.18). No obstante, ambos estudios que contemplaban variables biomecánicas de la marcha, fueron analizados a nivel estadístico por duplicado, según si las variables se registraban de manera bilateral o no, tal y como se

muestra en la figura III.17 y III.8. Es decir, en el caso de las variables en las que se registraron el lado A y el B, se incluyó el factor “hemicuerpo”. Sin embargo, en aquéllas en las cuales no tenía lugar la medición por hemicuerpos, este factor fue despreciado.

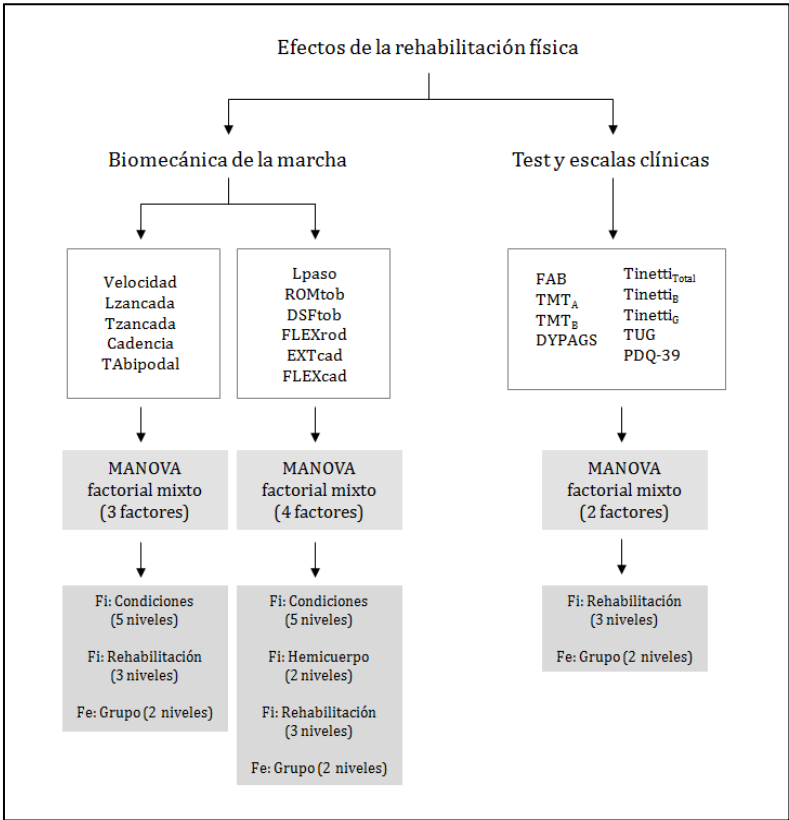


Figura III.18: Análisis estadísticos utilizados para el estudio del efecto de la rehabilitación física en la biomecánica de la marcha y en los test y escalas clínicas

Los factores incluidos en cada uno de los estudios descritos se describen a continuación:

- El factor entresujetos *grupo* de los análisis comparativos entre pacientes y sujetos tiene dos niveles, en la comparación previa a la rehabilitación, y tres niveles, en las comparaciones realizadas tras la rehabilitación. Los niveles en el

primer caso corresponden al grupo de sujetos sanos y al grupo de personas sin enfermedad. En el segundo, corresponden al GS, GC y GE. Por otra parte, el factor *grupo* de los análisis en los que se comprueba el efecto de la rehabilitación, involucra al GC y GE.

- El factor intrasujetos *condiciones*, de cinco niveles, representa las condiciones de evaluación basal, visual, verbal, auditiva y motora en cada de una de las sesiones de valoración.
- El factor intrasujetos *rehabilitación*, de tres niveles, representa el tiempo de valoración previo al inicio del programa de rehabilitación (pre), después del término de la rehabilitación (post) y tras ocho semanas de haber cesado las sesiones de entrenamiento (seguimiento).
- El factor intrasujetos *hemicuerpo*, de dos niveles, representa los lados derecho e izquierdo y solamente fue incluido en los análisis de las variables que miden el lado derecho e izquierdo.

El análisis utilizado para los propósitos mencionados anteriormente fue el Análisis Multivariante de Varianza (Multivariate analysis of variance, MANOVA) y, como estadístico de contraste para valorar las diferencias en los factores e interacciones, se empleó la Traza de Pillai que se distribuye, aproximadamente, como F de Fisher y que es el más robusto de los estadísticos disponibles (117).

En el análisis univariado se ha utilizado el estadístico F de Fisher. Para informar el efecto de cada factor en cada variable y sus posibles interacciones, se empleó la aproximación univariada sin ajuste de los grados de libertad cuando el criterio de esfericidad se cumplía. En caso contrario, se utilizaron las aproximaciones univariadas que corrigen los grados de libertad: Greenhouse & Geisser, Huynh & Feldt, según cuál de ellos presentase mayor potencia (118).

Cuando se hallaron diferencias estadísticamente significativas, se utilizó el estadístico de Sidak para observar las comparaciones por pares de medidas. Se aceptaron como significativas aquellas diferencias cuya probabilidad de ser debidas al azar fueron

inferiores al 5% ($p < 0,05$). Se especificó el ratio F, las diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes medidas realizadas (p) y el tamaño del efecto para cada prueba con el estadístico eta al cuadrado parcial (η^2_p).

Antes de realizar el estudio estadístico, se comprobó el cumplimiento de los supuestos correspondientes en este análisis:

- Independencia: el cumplimiento de este supuesto es positivo ya que las observaciones de los grupos pertenecen a diferentes sujetos.
- Aleatorización de la muestra: se confirmó este supuesto debido a los sujetos de la muestra fueron aleatorizados al grupo control y experimental de manera estratificada, teniendo en cuenta los estadios H&Y de la enfermedad.
- Normalidad: se comprobó que los datos de cada variables siguieran una distribución normal mediante el estadístico Shapiro-Willk ($p > 0,05$). Una vez evidenciada la normalidad, se utilizó la media y desviación estándar para la descripción de cada una de las variables.
- Esfericidad: se confirmó la homogeneidad entre las varianzas de las diferencias entre pares de medidas con la prueba de esfericidad de Mauchly ($p > 0,05$). Tal como se mencionó anteriormente, cuando el supuesto de esfericidad no se cumplía, se utilizaron las aproximaciones univariadas que corrigen los grados de libertad: Greenhouse & Geisser, Huynh & Feldt o límite inferior.
- Homocedasticidad de varianza: se comprobó la homogeneidad de varianzas de los diferentes grupos con la prueba de Levene ($p > 0,05$).
- Homogeneidad de matrices varianza-covarianza: para comprobar que las matrices de varianza-covarianzas de los niveles de los factores fueran iguales en cada uno de los niveles de los demás factores se solicitó el estadístico de Box.

En la mayoría de las variables dependientes se cumplieron estrictamente todos los supuestos. En aquellos casos que esto no fue así, se comprobó si el alejamiento del cumplimiento de los supuestos era severo y se emplearon las correcciones estadísticas,

mencionadas anteriormente, en los casos necesarios. Se procedió igualmente con el análisis de multivarianza dado la robustez de la prueba y a que no existe una alternativa no paramétrica válida.

Además de informar los resultados de los análisis estadísticos, para cada variable se informó el descriptivo media y desviación estándar. En los análisis comparativos entre personas sanas y personas con EP, se utilizaron porcentajes de referencia indicando de forma porcentual el *desempeño* realizado por los pacientes con respecto al desempeño de los sujetos sanos. Este descriptivo porcentual se obtuvo a partir de la siguiente fórmula: $[(\text{Desempeño Sanos} - \text{Desempeño Parkinson}) / \text{Desempeño Sanos}] * 100$ (23).

Por último, para comprobar que no existían diferencias estadísticas significativas entre las edades y medidas antropométricas de los sujetos, se realizó un análisis MANOVA con el factor entre sujetos *grupo* de tres niveles (sanos, controles y experimentales), comprobando los supuestos anteriormente descritos.

Capítulo IV. RESULTADOS

IV.1 Descripción de la muestra

La muestra estuvo compuesta por 83 participantes de los cuales 43 conformaron el grupo de sujetos sin patología (GS), 23 participantes conformaron el grupo de pacientes con EP que realizaron la rehabilitación propuesta en esta investigación (GE) y 17 participantes conformaron el grupo de pacientes con EP que realizaron la rehabilitación control (GC). Las características antropométricas y los datos clínicos relacionados a la evolución y severidad de la enfermedad para cada uno de los grupos se muestran en la Tabla IV.1. No se encontraron diferencias significativas entre los grupos para las variables edad, peso, altura e IMC ($p < 0,05$).

Tabla IV.1: Características clínicas de los participantes

	Grupo Experimental	Grupo Control	Grupo Sano	<i>p</i>
Edad (años)	66,35 (6,80)	65,10 (8,77)	66,60 (8,75)	0,78
Peso (kg)	70,15 (12,21)	67,25 (11,66)	68,43 (12,15)	0,78
Altura (m)	1,61 (0,07)	1,61 (0,08)	1,58 (0,08)	0,28
IMC (kg/m ²)	26,94 (4,39)	25,81 (5,12)	27,22 (4,00)	0,60
Evolución (años)	6,14 (5,55)	5,35 (3,40)	-	-
Estadio H&Y I	2 (8,7)	2 (11,8)	-	-
Estadio H&Y II	4 (17,4)	5 (29,4)	-	-
Estadio H&Y III	17 (73,9)	10 (58,8)	-	-
Predominio EP D ^º	12	10	-	-
Predominio EP I ^º	11	7	-	-

*Se muestra la media (desviación estándar) para las características clínicas edad, peso, altura e IMC y valores *p* (0,05) del análisis estadístico para indicar si existen diferencias entre los grupos. Para el estadio H&Y se muestra el recuento (% grupo) para cada categoría. Se muestra el recuento del predominio de los signos de la EP, según si es derecho (D^º) o izquierdo (I^º), para ambos grupos de pacientes.*

IV.2 Análisis de la marcha entre personas sanas y con enfermedad de Parkinson previo a rehabilitación física

En este apartado se presentan los resultados derivados del análisis que compara el desempeño de la marcha de las personas con EP y personas sanas de la misma edad. Este análisis se ha realizado con las medidas registradas antes de la rehabilitación, por lo

cual, el grupo de personas con EP de este análisis lo componen todos los participantes con EP, tanto del grupo experimental como del control. En primer lugar, se presenta el análisis multivariante para, posteriormente, detallar el efecto de los factores y su interacción sobre cada una de las variables por separado. Para facilitar la comprensión de los resultados, en el Anexo VI se muestran todas las comparaciones por pares de medida en tablas resumen.

IV.2.1 Análisis multivariante de la varianza

El análisis multivariado en el que se estudió el efecto de los factores CONDICIONES y GRUPO para comprobar las diferencias entre pacientes y personas sanas sobre las variables *velocidad*, *longitud de zancada*, *duración de zancada*, *cadencia* y *tiempo de apoyo bipodal*, no mostró una interacción estadísticamente significativa ($p>0,05$).

Para las variables bilaterales en la que sí se medían ambos hemicuerpos (i.e. *longitud de paso*, *rango de tobillo*, *dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación*, *flexión máxima de rodilla en fase de oscilación*, *extensión máxima de cadera en fase de apoyo* y *flexión máxima de cadera en fase de oscilación*) se realizó un análisis de multivarianza con los factores CONDICIONES, GRUPO y HEMICUERPO. Este análisis mostró que la interacción de los factores no fue estadísticamente significativa ($p>0,05$).

IV.2.2 Análisis Univariado

Primero, se detallan los resultados para las variables en las que se analizó el efecto de los factores CONDICIONES y GRUPO y luego, para las variables en la que además se analizó el factor HEMICUERPO. Para facilitar la descripción de las variables en la comparativa entre personas sanas y personas con EP, se incluye el porcentaje de desempeño de la marcha de las personas con EP con respecto a los valores del GS.

Velocidad

Sobre la *velocidad* se observó un efecto estadísticamente significativo de los factores CONDICIONES ($F_{(2,26; 183,66)}=15,98$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,17$) y GRUPO ($F_{(1,81)}=50,88$; $p<0,01$;

$\eta^2_p=0,39$) , pero no de su interacción, lo que significa que los cambios experimentados por la *velocidad*, en función de las distintas condiciones de marcha valoradas, eran similares tanto para las personas sin patología como para las personas con Parkinson.

En la Tabla IV.2 se muestran los descriptivos de la *velocidad* para ambos grupos, las diferencias significativas entre estos y los porcentajes de referencia indicando el desempeño del grupo de pacientes con respecto al desempeño del grupo de sujetos sanos. Se observó que la *velocidad* de marcha en el grupo de pacientes era significativamente inferior a la *velocidad* de las GS en todas las condiciones ($p<0,05$) alrededor de un 19%. Por otra parte, las diferencias entre condiciones de marcha eran iguales para ambos grupos (Tabla IV.2). Se observó que los participantes realizaron una *velocidad* significativamente inferior cuando se añadió una tarea verbal, auditiva y motora secundaria, en comparación a la *velocidad* de marcha en la condición basal (TS) ($p<0,05$).

Tabla IV.2: Velocidad registrada en evaluación prerrehabilitación del total de participantes

	Sanos	Parkinson	Desempeño
Basal	1,19 (0,13)	0,97 (0,19)*	-18,48 %
Visual	1,11 (0,19)	0,90 (0,21)*	-18,91 %
Verbal	1,04 (0,15) ¹	0,83 (0,22)* ¹	-20,19 %
Auditiva	1,04 (0,16) ¹	0,85 (0,19)* ¹	-18,26 %
Motora	1,06 (0,17) ¹	0,82 (0,21)* ¹	-22,64 %

*Se muestra la velocidad media (desviación estándar) en metros/segundo. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p<0,05$). ¹Señala las diferencias estadísticamente significativas de las condiciones duales con respecto a la condición basal. Se indica el desempeño de las personas con EP, con respecto al de las personas sanas, en forma de porcentaje.*

Longitud y duración de zancada

El efecto principal de cada factor aislado fue estadísticamente significativo tanto para la *longitud de zancada* (CONDICIONES, $F_{(2,70; 218,93)}=18,46$, $p<0,01$, $\eta^2_p=0,19$; GRUPO, $F_{(1; 81)}=28,07$, $p<0,01$, $\eta^2_p=0,26$)) como para la *duración de zancada* (CONDICIONES, $F_{(2,56; 207,32)}=6,74$; $p<0,01$; 6,74; $\eta^2_p=0,07$), GRUPO, $F_{(1; 81)}=12,27$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,13$)). Sin

embargo, la interacción de ambos factores no tuvo un efecto significativo sobre las variables ($p>0,05$). Esto indica que, al igual como ocurre con la *velocidad*, los cambios de las variables a través de las condiciones evaluadas, son similar tanto para pacientes como para sujetos sanos.

En la Tabla IV.3 se muestran los descriptivos de *longitud* y *duración de zancada* registrados en la medida prerrehabilitación para pacientes y GS, las diferencias estadísticas significativas entre los grupos y los porcentajes de referencia indicando el desempeño del grupo de pacientes. Se observa que, en todas las condiciones, los valores de la variable *longitud de zancada* del GS eran significativamente mayores ($p<0,05$), alrededor de un 15%. Además, la *duración de zancada* fue significativamente mayor en los pacientes que en las personas del GS ($p<0,05$), excepto en la marcha con una tarea auditiva. En las condiciones donde sí se observó diferencias entre grupos para esta variable, el grupo de pacientes realizó una *duración de zancada*, en promedio, de un 10% mayor que el GS.

Tabla IV.3: Longitud y duración de zancada registrada en evaluación prerrehabilitación del total de participantes

		Sanos	Parkinson	Desempeño
Longitud zancada	Basal	1,22 (0,10)	1,09 (0,19)*	-10,65
	Visual	1,15 (0,12) ¹	0,99 (0,19)* ¹	-13,91
	Verbal	1,13 (0,10) ¹	0,94 (0,20)* ¹	-16,81
	Auditiva	1,13 (0,11) ¹	0,97 (0,20)* ¹	-14,15
	Motora	1,12 (0,13) ¹	0,94 (0,20)* ¹	-16,07
Duración de zancada	Basal	1,00 (0,06)	1,10 (0,10)*	10
	Visual	1,00 (0,20)	1,12 (0,16)*	12
	Verbal	1,07 (0,09) ¹	1,17 (0,17)* ¹	9,34
	Auditiva	1,07 (0,10) ¹	1,12 (0,23)	4,67
	Motora	1,04 (0,10)	1,15 (0,17)* ¹	10,57

Se muestra la longitud de zancada media (desviación estándar) en metros y la duración de zancada en segundos. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p<0,05$). ¹Señala las diferencias estadísticamente significativas de las condiciones duales con respecto a la condición basal. Se indica el desempeño de las personas con EP, con respecto al de las personas sanas, en forma de porcentaje.

Con respecto a las comparaciones entre condiciones de marcha (Tabla IV.3), ambos grupos tuvieron el mismo comportamiento en la *longitud de zancada*, tal y como ocurría con la *velocidad*. Se observó que, en todas las condiciones de marcha con una tarea secundaria (TD), la *longitud de zancada* era estadísticamente inferior que en la condición de TS ($p<0,05$). Por otra parte, en ambos grupos se observó que la condición verbal registró el *tiempo de zancada* significativamente más alto ($p<0,05$), comparado con la condición basal. A su vez, en el grupo de pacientes, se observa que el segundo *tiempo de zancada* significativamente más alto es en la condición motora, mientras que, para el GS, el segundo *tiempo de zancada* más alto se alcanzó en la condición auditiva ($p<0,05$).

Cadencia

El factor CONDICIONES ($F_{(2,71; 219,95)}=4,51$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,05$) y GRUPO ($F_{(1,81)}=7,79$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,09$) tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la *cadencia*, pero no su interacción ($p>0,05$). Tal y como hemos explicado antes, esto significa que, los cambios en el número de pasos a través de las condiciones evaluadas, es similar tanto para pacientes como para sujetos sin patología.

En la Tabla IV.4 se muestran los descriptivos de la *cadencia* registrados en la evaluación prerrehabilitación para pacientes y personas sin patología, las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos y los porcentajes de referencia indicando el desempeño del grupo de pacientes.

Tabla IV.4: Cadencia registrada en evaluación prerrehabilitación del total de participantes

	Sanos	Parkinson	Desempeño
Basal	120,27 (8,38)	110,87 (9,72)*	-7,81 %
Visual	116,22 (10,48)	110,52 (18,65)	-4,90 %
Verbal	112,82 (9,54) ¹	106,07 (19,61)*	-5,98 %
Auditiva	113,39 (11,52) ¹	108,58 (19,37)	-4,24 %
Motora	115,85 (10,84)	108,34 (18,90)*	-6,48 %

*Se muestra la cadencia media (desviación estándar) en pasos/minuto. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p<0,05$). ¹Señala las diferencias estadísticamente significativas de las condiciones duales con respecto a la condición basal. Se indica el desempeño de las personas con EP, con respecto al de las personas sanas, en forma de porcentajes.*

Las personas con EP, en general, realizan menos pasos en todas las condiciones que el GS, alcanzando diferencias significativas en las condiciones basal, verbal y motora ($p<0,05$).

Si se analizan las comparaciones entre condiciones (Tabla IV.4), se observa que el grupo de pacientes no muestra diferencias significativas entre las distintas marchas realizadas ($p>0,05$). Por el contrario, en el GS se observa que, en las condiciones verbal y auditiva, se realiza una menor cantidad de pasos que en la condición basal ($p<0,05$).

Tiempo de apoyo bipodal

La interacción de los factores CONDICIONES y GRUPO tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el *tiempo de apoyo bipodal* ($F_{(3,66; 279,14)}=2,58$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,03$), lo que demuestra que los cambios que experimentan los grupos a través de las distintas condiciones de marcha es diferente entre pacientes y personas sanas. Además, el efecto principal de cada factor también fue significativo (CONDICIONES, ($F_{(3,44; 279,14)}=24,81$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,23$), GRUPO ($F_{(1;81)}=42,35$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,34$)).

En la Tabla IV.5 se muestran los valores del *tiempo de apoyo bipodal* en el ciclo de marcha (variable expresada en porcentaje) registrado en la evaluación prerrehabilitación para pacientes y GS, las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos y los porcentajes de referencia indicando el desempeño del grupo de pacientes. Se observa que los pacientes tuvieron un porcentaje de *apoyo bipodal* significativamente mayor que el GS en todas las condiciones de marcha valoradas ($p<0,05$), ocupando alrededor de un 5% más de su ciclo de marcha.

Con respecto a las diferencias entre condiciones (Tabla IV.5), en ambos grupos el *tiempo de apoyo bipodal* fue significativamente mayor cuando se realizaba la marcha con cualquier tarea secundaria, que cuando los participantes caminaban sin tareas añadidas ($p<0,05$). En ambos grupos, el *tiempo de doble apoyo* fue similar en todas las condiciones duales, sin embargo, en el grupo de pacientes se observó una diferencia estadísticamente significativa entre la condición verbal y las tareas visual y auditiva, donde la primera presentaba un mayor porcentaje del ciclo de marcha en *apoyo bipodal*

que en las dos últimas ($p<0,05$), tal y como ocurre en la variable *duración de zancada* donde el mayor tiempo observado también fue en la condición verbal.

Tabla IV.5: Tiempo de doble apoyo registrado en evaluación prerrehabilitación del total de participantes

	Sanos	Parkinson	Desempeño
Basal	26,27 (2,18)	30,00 (3,60)*	14,19 %
Visual	27,84 (2,38) ¹	32,13 (4,27)* ¹⁻³	15,40 %
Verbal	28,19 (2,77) ¹	33,78 (5,30)* ¹	19,82 %
Auditiva	28,52 (2,44) ¹	32,29 (4,00)* ¹⁻³	13,21 %
Motora	28,69 (2,68) ¹	33,18 (5,08)* ¹	15,65 %

*Se muestra el tiempo de doble apoyo medio (desviación estándar) en unidad de segundos. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p<0,05$). ¹Señala las diferencias estadísticamente significativas de las condiciones duales con respecto a la condición basal. ³Señala las diferencias estadísticamente significativas con la condición verbal. Se indica el desempeño de las personas con EP, con respecto al de las personas sanas, en forma de porcentaje.*

Longitud de paso

La interacción principal de los factores CONDICIONES * HEMICUERPO * GRUPO tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la *longitud de paso* ($F_{(3,64; 215,34)}=2,54$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,03$), lo que indicaba que esta variable tuvo un comportamiento distinto en las diferentes condiciones de marcha valoradas entre grupos y que ese cambio variaba, además, según se tratara del lado más o menos afecto del cuerpo. Asimismo, los efectos principales de los factores CONDICIONES ($F_{(3,66; 296,59)}=11,63$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,13$) y GRUPO ($F_{(1; 81)}=20,58$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,020$) también fueron significativos sobre la *longitud de paso*.

En la Tabla IV.6 se muestran los valores de *longitud de paso* registrado en la evaluación prerrehabilitación para pacientes y personas sin patología, las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos y los porcentajes de referencia indicando el desempeño de los pacientes. Cabe recordar, tal como se definió en el capítulo de metodología (apartado III.5.2) que, así como el hemicuerpo A en los pacientes corresponde al lado más afectado por los signos de la EP, en los sujetos sanos, el lado A corresponde al hemicuerpo no dominante. Como ha ocurrido en el resto de variables, las personas con EP realizaron una *longitud de paso* significativamente

inferior, con ambos hemicuerpos, que el GS en todas las condiciones de marcha evaluadas ($p<0,05$). El peor desempeño por parte de los pacientes se registró en la condición auditiva con el hemicuerpo A, donde realizaron una *longitud de paso* un 20% inferior que los sujetos sanos. Mientras que, con el hemicuerpo B, el desempeño más bajo tuvo lugar en la condición visual, donde hicieron un paso un 15% por debajo del GS.

Las diferencias estadísticamente significativas entre hemicuerpos solamente se observaron en el grupo de personas con EP, específicamente en la condición verbal. Los pacientes, con el lado menos afectado por los signos de la enfermedad, realizaron una *longitud de paso* de 4 cm mayor que con el lado más afectado ($p<0,05$).

Tabla IV.6: Longitud de paso registrado en evaluación prerrehabilitación del total de participantes

	Sanos		Parkinson		Desempeño	
	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B
Basal	0,61 (0,56)	0,60 (0,05)	0,54 (0,10)*	0,55 (0,10)*	-11,47	-8,33
Visual	0,58 (0,05)	0,60 (0,11) ¹	0,50 (0,10)*	0,51 (0,10)* ¹	-13,79	-15,00
Verbal	0,56 (0,05) ¹	0,56 (0,05) ¹	0,46 (0,10)* ¹	0,50 (0,10)* ^a	-17,85	-10,71
Auditiva	0,60 (0,14)	0,56 (0,05) ¹	0,48 (0,10)*	0,51 (0,45)*	-20,00	-8,92
Motora	0,56 (0,10) ¹	0,55 (0,05) ¹	0,47 (0,10)* ¹	0,48 (0,10)* ¹	-16,07	-12,72

*Se muestra la longitud de paso medio (desviación estándar) con la unidad metro. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p<0,05$). ¹Señala las diferencias estadísticamente significativas de las condiciones duales con respecto a la condición basal. ^aSeñala las diferencias estadísticamente significativas son el hemicuerpo contrario. Se indica el desempeño de las personas con EP, con respecto al de las personas sanas, en forma de porcentaje.*

Con respecto a la comparación entre condiciones, la *longitud de paso* que realizaron ambos grupos durante las tareas duales verbal y motora fue significativamente inferior que la longitud realizada en la condición basal ($p<0,05$) con el hemicuerpo A. Con el lado B, el GS realizó una *longitud de paso* significativamente inferior en todas las condiciones de marcha duales que en la condición basal ($p<0,05$). Por otra parte, el grupo de pacientes, solamente realizó una *longitud de paso* significativamente inferior en las condiciones visual y motora, comparada con la condición basal ($p<0,05$).

Movimiento de la articulación de tobillo en el plano sagital

El movimiento de la articulación de tobillo se ha descrito en este estudio con las variables *rango de tobillo* y *dorsiflexión máxima en fase de oscilación*. En este apartado se describe, la comparación entre sujetos sin patología y pacientes, para ambas variables.

Sobre el *rango de tobillo*, tuvo un efecto estadísticamente significativo la interacción de los factores GRUPO * CONDICIONES ($F_{(3,51; 186,91)}=3,16$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,04$). En cambio, sobre la variable *dorsiflexión máxima de tobillo* no hubo efecto significativo de la interacción de los factores ($p>0,05$). Si se analiza el efecto principal de los factores de manera aislada, solamente sobre la variable *rango de tobillo* este fue estadísticamente significativo por parte del factor CONDICIONES ($F_{(3,51; 186,91)}=4,90$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,06$) y GRUPO ($F_{(1,81)}=11,76$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,13$). Por el contrario, sobre la *dorsiflexión máxima de tobillo*, no se observó un efecto por parte de ninguno de los factores analizados ($p>0,05$), lo que significa que los valores de este ángulo son similares entre grupos, condiciones y hemicuerpos.

En la Tabla IV.7 se muestran los valores de las variables referentes al tobillo registradas en la evaluación prerrehabilitación para pacientes y personas sin patología, las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos y los porcentajes de referencia indicando el desempeño de los pacientes. Como se comentó antes, las diferencias entre grupos se observaron solamente en la variable *rango de tobillo*, en la cual, los pacientes realizaron un movimiento significativamente inferior que el GS ($p<0,05$) en tres de las cinco condiciones evaluadas. Este menor desempeño fue de un 12% en promedio, en las condiciones basal, verbal y motora con el lado A, y de un 16% en las condiciones visual, verbal y motora con el lado B. Como se mencionó anteriormente, no existen diferencias estadísticamente significativas entre grupos cuando se analiza la *dorsiflexión máxima de tobillo* ($p>0,05$). Tampoco se observan diferencias entre hemicuerpos en ninguna de las condiciones valoradas para ninguno de los grupos ($p>0,05$) y en ninguna de las dos variables que representan el movimiento del tobillo.

En relación a las diferencias entre condiciones (Tabla IV.7) de la variable *rango de tobillo*, en la condición motora se observa un rango significativamente menor que en la condición basal ($p<0,05$) con ambos hemicuerpos, pero solamente en el grupo de pacientes. Además, las personas con EP con el hemicuerpo menos afecto, realizaron un *rango de tobillo* significativamente inferior en la condición verbal que en la condición basal ($p<0,05$), y en la condición motora comparada con la condición auditiva ($p<0,05$). Para la variable *dorsiflexión máxima de tobillo* en fase de oscilación no se observaron diferencias del ángulo realizado entre las diferentes condiciones ($p>0,05$).

Tabla IV.7: Movimiento de tobillo registrado en evaluación prerrehabilitación del total de participantes							
		Sanos		Parkinson		Desempeño	
		Lado A	Lado B	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B
Rango	Basal	19,90 (3,8)	20,03 (4,2)	17,84 (4,6)*	18,25 (5,9)	-10,35	-8,88
	Visual	18,64 (3,8)	19,63 (4,6)	17,40 (4,8)	16,78 (3,9)*	-6,65	-14,51
	Verbal	19,14 (3,6)	19,80 (3,8)	16,85 (5,2)*	16,51 (4,1)* ¹	-11,96	-16,61
	Auditiva	19,84 (5,0)	19,71 (4,1)	18,15 (4,3)	18,11 (5,6) ⁵	-8,51	-8,11
	Motora	19,84 (3,9)	19,69 (3,8)	16,38 (4,8)* ¹	15,66 (3,7)* ¹	-17,43	-20,46
Dorsiflexión	Basal	5,51 (3,1)	4,58 (3,2)	3,65 (5,3)	5,33 (10,8)	-33,75	16,37
	Visual	5,33 (3,4)	4,10 (3,6)	3,71 (4,6)	4,10 (3,9)	-30,39	0,00
	Verbal	5,35 (3,5)	4,74 (3,3)	4,31 (5,1)	3,89 (3,7)	-19,43	-17,93
	Auditiva	5,25 (3,3)	4,51 (3,3)	4,04 (4,9)	3,73 (4,7)	-23,04	-17,29
	Motora	5,22 (3,5)	4,39 (3,4)	4,17 (5,0)	6,07 (13,2)	-20,11	38,26

Se muestra las variables que caracterizan el movimiento de tobillo (desviación estándar) en grados. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p<0,05$). ¹Señala las diferencias estadísticamente significativas de las condiciones duales con respecto a la condición basal y ⁵señala diferencias con la condición motora. Se indica el desempeño de las personas con EP, con respecto al de las personas sanas, en forma de porcentaje.

Flexión máxima de la articulación de rodilla en fase de oscilación

La interacción de los factores no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la *flexión máxima de rodilla* en fase de oscilación. Sin embargo, sí tuvieron un efecto

significativo sobre la misma los factores CONDICIONES ($F_{(3,47; 281,37)}=5,61$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,07$) y GRUPO ($F_{(1;81)}=17,55$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,18$).

En la Tabla IV.8 se observan los valores de *flexión máxima de rodilla* registrado en la evaluación prerrehabilitación para pacientes y personas sin patología, las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos y los porcentajes de referencia del grupo de pacientes. Al igual que en el resto de variables, los pacientes realizaron una flexión máxima en la fase de oscilación significativamente menor que el GS ($p<0,05$) con ambos hemicuerpos en todas las condiciones de marcha. Se observó que el grupo de pacientes tenía un déficit del ángulo de flexión de un 12% con el hemicuerpo A y del 9%, en promedio, con el hemicuerpo B, al ser comparados con el GS.

El efecto principal del factor HEMICUERPO no fue significativo en la *flexión máxima de rodilla* ($p>0,05$), por lo que no se encontraron diferencias entre el lado A y el lado B en ninguno de los grupos. Por otra parte, las diferencias significativas entre condiciones solamente se observaron en el GS y específicamente en el lado B (Tabla IV.8), donde el ángulo de flexión realizado en la condición verbal es significativamente inferior que el de la condición basal ($p<0,05$). Si bien, en el grupo de pacientes no se observaron diferencias significativas entre condiciones, la tendencia con ambos hemicuerpos es realizar un ángulo de flexión de rodilla menor en la condición verbal.

Tabla IV.8: Flexión máxima de rodilla registrada en evaluación prerrehabilitación del total de participantes

	Sanos		Parkinson		Desempeño	
	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B
Basal	61,90 (7,8)	63,13 (7,5)	55,74 (8,6)*	56,59 (9,0)*	-9,95	-10,36
Visual	61,94 (7,7)	61,69 (8,0)	54,30 (8,6)*	56,09 (8,8)*	-12,33	-9,07
Verbal	61,43 (7,5)	60,33 (8,0) ¹	53,97 (7,6)*	54,53 (8,1)*	-12,14	-9,61
Auditiva	61,69 (7,6)	60,79 (8,2)	54,33 (8,7)*	55,90 (7,5)*	-11,98	-8,04
Motora	63,49 (7,6)	61,80 (8,3)	55,35 (7,8)*	55,92 (8,0)*	-12,82	9,51

Se muestra la flexión máxima de rodilla (desviación estándar) en unidad de grados de movimiento. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p<0,05$). ¹Señala las diferencias estadísticamente significativas de las condiciones duales con respecto a la condición basal. Se indica el desempeño de las personas con EP, con respecto al de las personas sanas, en forma de porcentaje.

Movimiento de la articulación de cadera en el plano sagital

El movimiento de la articulación de cadera fue representado en este estudio por las variables *extensión máxima de cadera en fase de apoyo* y *flexión máxima de cadera en fase de oscilación*, por lo que en este apartado se mencionan los resultados para ambas. Sobre la *extensión máxima de cadera* no se observó un efecto significativo de la interacción de los factores, ni del efecto principal de cada uno de ellos ($p>0,05$). Sin embargo, sobre la variable *flexión máxima de cadera*, fue estadísticamente significativo el efecto principal de los factores CONDICIONES ($F_{(3,50; 283,76)}=8,58$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,10$) y GRUPO ($F_{(1,81)}=6,89$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,08$), pero no de la interacción ($p>0,05$).

En la Tabla IV.9 se observan los valores que caracterizan el movimiento de la articulación de cadera registrados en la evaluación prerrehabilitación para pacientes y personas sin patología, las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos y los porcentajes de referencia del grupo de pacientes. En la variable *extensión máxima de cadera*, los valores de ambos grupos son similares ($p>0,05$). Por otra parte, en la variable *flexión máxima de cadera*, el grupo de pacientes realizó un ángulo de flexión significativamente menor con el lado A, que el grupo de personas sanas en todas las condiciones de marcha ($p<0,05$). De un modo similar, con el lado B, esta disminución del grupo de pacientes con respecto al GS, fue significativa en las condiciones basal y verbal ($p<0,05$). En las condiciones mencionadas, el desempeño en la *flexión máxima de cadera* de las personas con EP varió entre 11% y 16% por debajo del desempeño del GS.

Con respecto a las diferencias entre hemicuerpos, en las dos variables que describen el movimiento de la cadera, no se observaron diferencias significativas entre el lado donde predominan los signos de la enfermedad de Parkinson y el lado donde no se han manifestado signos clínicos, o donde estos no son tan severos ($p>0,05$). En la variable *flexión máxima de cadera*, las diferencias entre condiciones son evidentes en el grupo de sujetos sanos. Estos, con ambos hemicuerpos, realizan una flexión inferior en todas las condiciones duales con respecto a la condición basal ($p<0,05$). Contrariamente, los pacientes solamente muestran que, con el hemicuerpo A, realizaron una flexión menor en la condición verbal que en la condición de marcha sin tareas secundarias. Estas

diferencias significativas se traducen en alrededor de 3° de movimiento, lo que clínicamente, hace que el comportamiento de ambos grupos sea similar a través de las condiciones de TS y TD.

Tabla IV.9: Extensión máxima en fase de apoyo y flexión máxima en fase de oscilación de la articulación de cadera registrado en evaluación prerrehabilitación del total de participantes

		Sanos		Parkinson		Desempeño	
		Lado A	Lado B	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B
Extensión	Basal	-10,01 (3,5)	-8,66 (8,9)	-9,50 (4,7)	-9,72 (4,0)	-5,09	12,24
	Visual	-9,51 (4,4)	-9,72 (3,2)	-9,05 (3,9)	-9,08 (4,3)	-4,83	-6,58
	Verbal	-9,51 (3,8)	-9,28 (3,5)	-8,71 (4,4)	-8,80 (4,3)	-8,41	-5,17
	Auditiva	-9,41 (4,0)	-8,99 (3,4)	-8,37 (4,7)	-8,92 (4,6)	-11,05	-0,77
	Motora	-9,24 (4,0)	-8,99 (3,3)	-8,61 (3,9)	-7,94 (5,0)	-6,81	-11,67
Flexión	Basal	32,50 (6,5)	32,54 (8,6)	27,44 (7,9)*	28,38 (7,3)*	-15,56	-12,78
	Visual	30,74 (6,6) ¹	30,76 (6,5) ¹	26,87 (8,1)*	27,88 (7,7)	-12,58	-9,36
	Verbal	30,94 (6,7) ¹	30,41 (6,0) ¹	25,94 (7,4)* ¹	27,01 (7,0)*	-16,16	-11,18
	Auditiva	30,65 (6,5) ¹	30,15 (6,4) ¹	26,93 (7,6)*	27,65 (6,7)	-12,13	-8,29
	Motora	30,74 (6,9) ¹	29,93 (6,3) ¹	26,45 (7,6)*	26,94 (7,5)	-13,95	-9,99

*Se muestra la extensión y flexión máxima de cadera (desviación estándar) en unidad de grados de movimiento. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p < 0,05$). ¹Señala las diferencias estadísticamente significativas de las condiciones duales con respecto a la condición basal. Se indica el desempeño de las personas con EP, con respecto al de las personas sanas, en forma de porcentaje.*

IV.3 Efecto de la rehabilitación física sobre el patrón de marcha

En este apartado se presentan los resultados derivados del análisis del efecto de la rehabilitación. En primer lugar, se presenta el análisis multivariante para, posteriormente, detallar el efecto de los factores y su interacción sobre las variables estudiadas. Para facilitar la comprensión de los resultados, en el Anexo VI se muestran todas las comparaciones por pares de medida en tablas resumen.

IV.3.1 Análisis multivariante de varianza

El análisis multivariado en el que se estudió el efecto de los factores REHABILITACIÓN, CONDICIONES y GRUPO sobre las variables *velocidad, longitud de zancada, duración de*

zancada, cadencia y tiempo de apoyo bipodal, mostró una interacción de los factores estadísticamente significativa ($F_{(40,1492)}=1,55$; $p \leq 0,01$; $\eta^2_p=0,04$).

Para las variables *longitud de paso, rango de tobillo, dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación, flexión máxima de rodilla en fase de oscilación, extensión máxima en fase de apoyo y flexión máxima de cadera en fase de oscilación*, en las que se recogían los datos para cada extremidad, se realizó un análisis de multivarianza con los mismos factores (i.e. REHABILITACIÓN, CONDICIONES y GRUPO) y además se añadió el factor HEMICUERPO. Este análisis mostró que la interacción de los factores era estadísticamente significativa ($F_{(48,1784)}=1,45$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,04$).

En todas las variables analizadas no se observaron diferencias entre los grupos control y experimental en la valoración previa a la rehabilitación ($p > 0,05$), por lo cual no se hace referencia en el texto ni se incluye información gráfica de ese tiempo de evaluación.

IV.3.2 Análisis Univariado

En primer lugar, se detallan los resultados para las variables que cuentan con los factores REHABILITACIÓN, CONDICIONES y GRUPO y, posteriormente, se detallan los resultados de las variables en las que, además, se analiza el efecto del factor HEMICUERPO.

Velocidad

Si bien no existía una interacción estadísticamente significativa de los factores CONDICIONES, REHABILITACIÓN y GRUPO sobre la *velocidad* ($p > 0,05$), la interacción REHABILITACIÓN * GRUPO sí fue significativa ($F_{(1,81; 69,02)}=16,23$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,29$), lo que indica un cambio tras la rehabilitación diferente para el GC y GE, pero con un comportamiento similar a través de las condiciones de marcha estudiadas. Además, los resultados mostraron un efecto principal significativo de cada uno de los factores por separado sobre la *velocidad*: CONDICIONES ($F_{(3,114.16)}=35,20$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,35$), REHABILITACIÓN ($F_{(1,18;76)}=35,20$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,48$) y GRUPO ($F_{(1,38)}=9,13$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,19$).

En la Tabla IV.10 se pueden observar los valores de *velocidad* media a lo largo del estudio y los valores *p* de la comparación entre las medidas prerrehabilitación, postrehabilitación y seguimiento, en cada una de las condiciones y grupos.

Tabla IV.10: Velocidad de marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación

		PRE	POST	SEGUIMIENTO	<i>p</i> ¹	<i>p</i> ²	<i>p</i> ³
Experimental	Basal	0,97 (0,18)	1,23 (0,15)	1,19 (0,10)	<0,01	<0,01	0,36
	Visual	0,87 (0,21)	1,11 (0,20)	1,12 (0,12)	<0,01	<0,01	0,79
	Verbal	0,81 (0,19)	1,06 (0,18)	1,06 (0,14)	<0,01	<0,01	0,99
	Auditivo	0,83 (1,19)	1,10 (0,17)	1,10 (0,11)	<0,01	<0,01	1,00
	Motor	0,87 (0,19)	1,14 (0,16)	1,13 (0,09)	<0,01	<0,01	0,96
Control	Basal	0,98 (0,20)	0,99 (0,18)	1,03 (0,17)	0,97	0,35	0,47
	Visual	0,94 (0,19)	0,98 (0,13)	0,93 (0,17)	0,93	0,99	0,48
	Verbal	0,85 (0,26)	0,88 (0,16)	0,88 (0,17)	0,95	0,85	0,99
	Auditivo	0,88 (0,18)	0,91 (0,18)	0,88 (0,17)	0,78	0,99	0,66
	Motor	0,76 (0,22)	0,93 (0,15)	0,92 (0,17)	<0,01	<0,01	0,99

*Se muestra la velocidad media (desviación estándar) en metros/segundo. Valor *p*¹: comparación de las medidas pre y postrehabilitación. Valor *p*²: comparación de las medidas prerrehabilitación y seguimiento. Valor *p*³: comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: *p*<0,05.*

El grupo de pacientes del GE mostró un aumento significativo de la *velocidad* tras la rehabilitación en la condición basal de TS y en las condiciones de TD (*p*<0,01). Este cambio positivo de la *velocidad* se mantuvo en el tiempo en todas las condiciones estudiadas, lo que se puede comprobar gracias a las diferencias significativas entre las medidas prerrehabilitación y seguimiento (*p*<0,01) y a que, esta última, no presenta cambios con respecto a la medida postrehabilitación (*p*>0,05). Por otra parte, el GC consiguió un aumento significativo de la *velocidad* en la TD motora (*p*<0,01), el que también se mantuvo en la evaluación de seguimiento (*p*<0,01).

Al estudiar las diferencias entre grupos (Figura IV.1), se pudo comprobar que en la medida prerrehabilitación no existían diferencias de velocidad entre GE y GC. En cambio, en las medidas postrehabilitación y seguimiento, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en todas las condiciones de marcha

valoradas ($p<0,05$). Las diferencias entre condiciones (dentro de cada grupo) también se pueden observar en la Figura IV.1. Además de las diferencias significativas que existían entre las condiciones de TD con la condición de TS para ambos grupos de pacientes ($p<0,05$), se observaron diferencias entre las condiciones visual y motora al ser contrastadas con la condición verbal del GE.

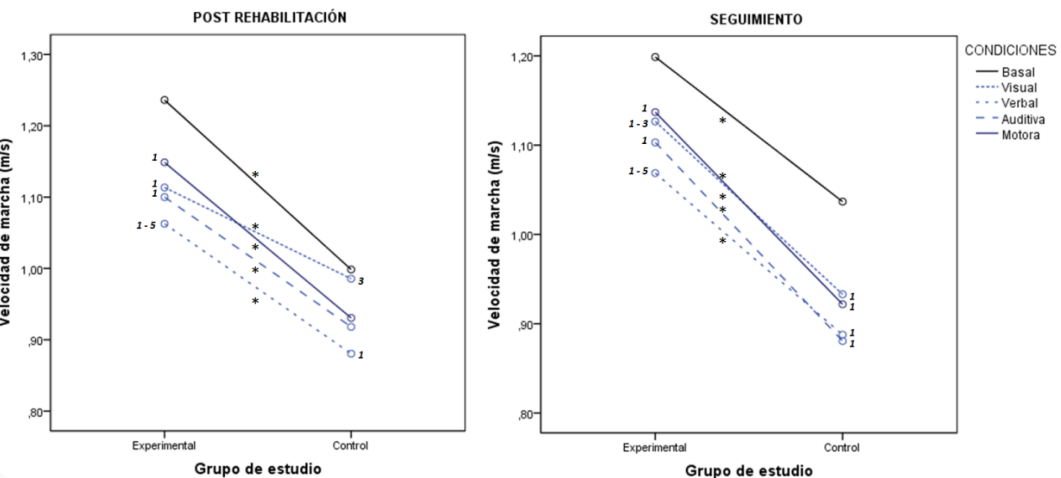


Figura IV.1: Diferencias de la velocidad entre grupos y entre condiciones de marcha

Se muestra la velocidad de marcha (m/s) en la medida postrehabilitación (izquierda) y seguimiento (derecha). *Señala diferencias estadísticamente significativas entre grupos. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición basal. 5: diferencias estadísticamente significativas con la condición motora. 3: diferencias estadísticamente significativas con la condición verbal. Nivel de significación: $p<0,05$.

Longitud de zancada

La interacción de los factores CONDICIONES, REHABILITACIÓN y GRUPO fue significativa sobre la longitud de zancada ($F_{(5,59; 212,55)}=2,98$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,73$). También se observó un efecto principal significativo de cada factor por separado: CONDICIONES ($F_{(3,38; 128,78)}=14,92$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,28$), REHABILITACIÓN ($F_{(1,92; 73,29)}=25,31$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,40$) y GRUPO ($F_{(1,38)}=7,26$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,16$).

Si se analizan las comparaciones entre las medidas prerrehabilitación, postrehabilitación y seguimiento de manera aislada para cada condición y grupo, se observó que existía un aumento estadísticamente significativo la *longitud de zancada* para el GE en todas las condiciones de marcha evaluadas ($p<0,01$) y que perduró tras ocho semanas sin fisioterapia, tal y como se muestra en la Tabla IV.11.

Tabla IV. 11: Longitud de zancada durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación

		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Experimental	Basal	1,07 (0,15)	1,28 (0,14)	1,24 (0,12)	<0,01	<0,01	0,08
	Visual	0,99 (0,17)	1,21 (0,18)	1,20 (0,16)	<0,01	<0,01	0,99
	Verbal	0,95 (0,16)	1,16 (0,12)	1,14 (0,12)	<0,01	<0,01	0,79
	Auditivo	0,99 (0,18)	1,18 (0,12)	1,15 (0,10)	<0,01	<0,01	0,63
	Motor	0,98 (0,17)	1,21 (0,20)	1,17 (0,09)	<0,01	<0,01	0,60
Control	Basal	1,09 (0,14)	1,09 (0,18)	1,13 (0,17)	1,00	0,68	0,34
	Visual	1,04 (0,18)	1,09 (0,13)	1,05 (0,16)	0,68	0,99	0,66
	Verbal	0,99 (0,20)	1,01 (0,16)	1,03 (0,16)	0,93	0,69	0,95
	Auditivo	1,01 (0,18)	1,03 (0,16)	1,02 (0,16)	0,90	0,97	0,97
	Motor	0,87 (0,34)	1,03 (0,16)	1,07 (0,22)	0,03	<0,01	0,75

Se muestra la longitud de zancada (desviación estándar) en metros. Valor p^1 : comparación de las medidas pre y postrehabilitación. Valor p^2 : comparación de las medidas prerrehabilitación y seguimiento. Valor p^3 : comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p<0,05$.

Por otra parte, tal y como ocurrió con la *velocidad*, el GC consiguió un aumento significativo de la *longitud de zancada* en la condición de marcha con una tarea secundaria motora ($p<0,01$), la cual se mantiene en la evaluación de seguimiento ($p<0,01$). Al estudiar las diferencias estadísticas significativas entre grupos (Figura IV.2), estas se observaron en todas las condiciones y en las dos medidas registradas tras los programas de fisioterapia experimental y control ($p<0,05$).

Con respecto a las comparaciones entre condiciones, para el GE se observaron diferencias estadísticamente significativas entre la condición basal y la condición verbal y auditiva ($p<0,05$), hecho que se repite en todas las medidas realizadas (Figura IV.2). De

un modo similar, en el GC se observaron diferencias estadísticamente significativas entre la condición basal y verbal, en las tres medidas del estudio ($p<0,05$). Además, en el mismo GC, se observó en la medida de seguimiento, que la *zancada* en la condición auditiva fue significativamente más corta que en la condición de TS ($p<0,05$).

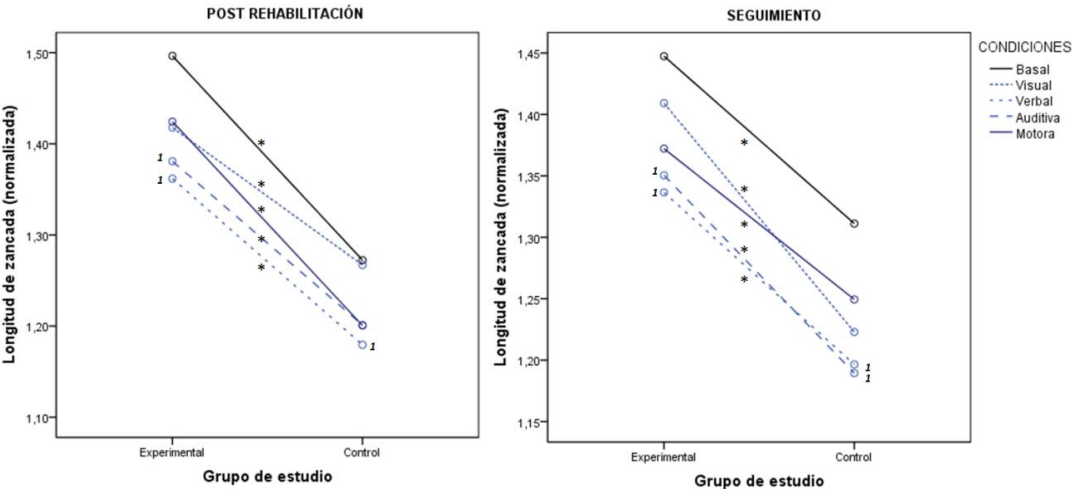


Figura IV.2: Diferencias de longitud de zancada entre grupos y entre condiciones de marcha

Se muestra la longitud de zancada (normalizada) en la medida postrehabilitación (izquierda) y seguimiento (derecha). *Señala diferencias estadísticamente significativas entre grupos. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición basal. 5: diferencias estadísticamente significativas con la condición motora. Nivel de significación: $p<0,05$.

Duración de zancada

En la variable *duración de zancada* se encontró un efecto estadístico significativo de la interacción de los factores CONDICIONES, REHABILITACIÓN y GRUPO ($F_{(3,54; 134,51)}=3,28$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,08$). Con respecto al efecto los factores de forma aislada, sobre la *duración de zancada*, el factor GRUPO no tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p>0,05$), mientras que los demás factores sí, como es el caso de REHABILITACIÓN ($F_{(1,64;62,49)}=7,88$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,17$) y CONDICIONES ($F_{(3,52;133,92)}=7,84$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,17$).

En la Tabla IV.12 se pueden observar los valores de *duración de zancada* media a lo largo del estudio y los valores *p* de la comparación entre las tres medidas del estudio. En el GE se observó una disminución estadísticamente significativa del tiempo empleado en la zancada solamente en las condiciones basal, verbal y motora ($p < 0,05$), que perduró en la medida de seguimiento. En la condición auditiva, el GE logró una disminución significativa del *tiempo de zancada* solamente tras las ocho semanas después de haber acabado la rehabilitación ($p < 0,05$). Por otra parte, para el GC solamente se observó una disminución estadísticamente significativa de la *duración de zancada* en la condición motora de la medida postrehabilitación (Tabla IV.12).

Tabla IV.12: Duración de zancada durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación

		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Experimental	Basal	1,08 (0,12)	1,01 (0,06)	1,01 (0,06)	<0,01	<0,01	1,00
	Visual	1,13 (0,19)	1,07 (0,13)	1,05 (0,08)	0,66	0,10	0,91
	Verbal	1,16 (0,18)	1,09 (0,13)	1,06 (0,08)	0,02	<0,01	0,27
	Auditivo	1,17 (0,17)	1,07 (0,12)	1,02 (0,07)	0,07	0,01	0,14
	Motor	1,12 (0,20)	1,05 (0,12)	0,98 (0,23)	0,02	0,01	0,23
Control	Basal	1,09 (0,08)	1,07 (0,07)	1,05 (0,09)	0,51	0,17	0,50
	Visual	1,12 (0,11)	1,08 (0,06)	1,12 (0,13)	0,48	0,99	0,30
	Verbal	1,18 (0,15)	1,13 (0,10)	1,14 (0,14)	0,22	0,50	0,96
	Auditivo	1,05 (0,29)	1,11 (0,89)	1,14 (0,12)	0,63	0,25	0,35
	Motor	1,19 (0,13)	1,08 (0,06)	1,12 (0,13)	<0,01	0,60	0,73

Se muestra la duración de zancada (desviación estándar) en segundos. Valor p^1 : comparación de las medidas pre y postrehabilitación. Valor p^2 : comparación de las medidas prerehabilitación y seguimiento. Valor p^3 : comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p < 0,05$.

Al estudiar la comparación entre grupos (Figura IV.3), las diferencias estadísticamente significativas solamente se observaron en la medida postrehabilitación en la condición basal, en la cual el GE realizó un menor *tiempo de zancada* que el GC ($p < 0,05$). En la misma medida de seguimiento, el GE realizó un tiempo de zancada significativamente menor que el GC, pero solamente en las condiciones verbal, auditiva y motora ($p < 0,05$).

En relación a la comparación entre condiciones, en la medida postrehabilitación se observó que, en el GE, la *duración de zancada* era significativamente mayor en la condición verbal comparada con la condición basal ($p<0,05$). En cambio, en el GC, el *tiempo de zancada* en la tarea verbal aumentaba significativamente con respecto a la tarea visual ($p<0,05$). En la medida de seguimiento, el GE realizó un mayor tiempo de zancada en la condición verbal que en la condición basal y auditiva ($p<0,05$), mientras que el GC tardó más en realizar una zancada en todas las TD comparadas con la condición de TS (Figura IV.3).

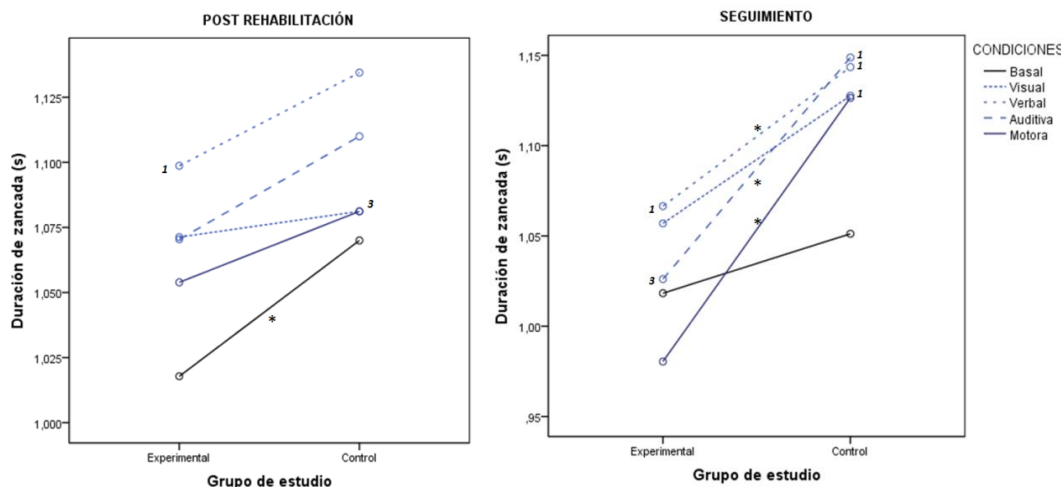


Figura IV.3: Diferencias de duración de zancada entre grupos y entre condiciones de marcha
Se muestra la duración de zancada (segundos) en la medida postrehabilitación (izquierda) y seguimiento (derecha). *Señala diferencias estadísticamente significativas entre grupos. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición basal. 5: diferencias estadísticamente significativas con la condición motora. 3: diferencias estadísticamente significativas con la condición verbal. Nivel de significación: $p<0,05$.

Cadencia

En relación a la *cadencia*, la interacción principal de los factores CONDICIONES, REHABILITACIÓN y GRUPO no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la variable ($p>0,05$). Sin embargo, la interacción REHABILITACIÓN * GRUPO sí ($F_{(1,83; 69,76)}=5,01$; $p\leq 0,01$; $\eta^2_p=0,18$), al igual como se observó con la variable *velocidad*.

También se observó un efecto principal significativo del factor CONDICIONES ($F_{(3,3; 125,63)}=5,93$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,14$). Sin embargo, los factores REHABILITACIÓN y GRUPO no tuvieron ningún efecto sobre la *cadencia* ($p>0,05$) cuando se analizaron por separado. En la Tabla IV.13 se pueden observar los valores de *cadencia* media a lo largo del estudio y los valores p de la comparación entre las tres medidas registradas, de forma aislada por condiciones y por grupo.

Tabla IV.13: Cadencia durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación

		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Experimental	Basal	111,23 (11,1)	118,71 (7,31)	118,82 (6,95)	<0,01	<0,01	1,00
	Visual	108,20 (15,94)	113,46 (11,47)	114,8 (8,26)	0,37	0,20	0,89
	Verbal	104,59 (14,99)	110,98 (10,87)	109,59 (2,26)	0,22	0,69	0,97
	Auditivo	104,74 (13,96)	113,68 (10,61)	117,16 (7,53)	0,04	0,00	0,21
	Motor	108,88 (15,59)	115,45 (11,92)	117,41 (9,36)	0,16	0,06	0,76
Control	Basal	110,39 (7,66)	112,82 (7,63)	115,81 (9,55)	0,52	0,40	0,15
	Visual	113,66 (21,91)	111,67 (7)	108,5 (11,4)	0,94	0,53	0,49
	Verbal	108,07 (24,92)	107,11 (9,22)	106,84 (11,22)	0,99	0,99	1,00
	Auditivo	113,78 (24,42)	109,41 (8,45)	106,15 (10,78)	0,65	0,23	0,38
	Motor	107,62 (23,15)	111,92 (6,22)	109,32 (11,42)	0,62	0,96	0,68

Se muestra la cadencia (desviación estándar) en número de pasos/minuto. Valor p^1 : comparación de las medidas pre y postrehabilitación. Valor p^2 : comparación de las medidas prerehabilitación y seguimiento. Valor p^3 : comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p<0,05$.

Solamente se observó un aumento de la *cadencia* estadísticamente significativo para el GE en la condición de TS y la condición auditiva ($p<0,05$) tras la rehabilitación, que se mantuvo en la evaluación de seguimiento. Al estudiar las diferencias entre grupos (Figura IV.4) se observó que en la medida prerehabilitación no existían diferencias ($p>0,05$), pero que, tras los respectivos tratamientos de fisioterapia, el GE realizó una *cadencia* significativamente mayor que el GC ($p>0,05$) solamente en la condición de TS. Tras ocho semanas sin rehabilitación, GC se acercó a la cantidad de pasos realizado por el GE, por lo que no se observan diferencias en la condición basal. Sin embargo, en las

condiciones de marcha junto a una tarea visual, auditiva y motora, el GE realiza una cantidad de pasos significativamente mayor que el GC ($p<0,05$).

Con respecto a las comparaciones entre condiciones, en las medidas postrehabilitación y de seguimiento, se observó en ambos grupos que en la condición basal se realizaron mayor cantidad de pasos que en las condiciones de marcha con tareas secundarias. Sin embargo, la condición de TD motora, es la condición que más se acerca al desempeño realizado en la condición de TS, no encontrándose diferencias estadísticas entre éstas en ninguno de los grupos ni tiempos de medida ($p>0,05$). Las diferencias estadísticas significativas se observaron en la *cadencia* realizada en las condiciones visual, verbal y auditiva ($p<0,05$) para el GE y en la condición verbal ($p<0,05$) para el GC, comparadas con la condición de TS en la evaluación postrehabilitación. En la evaluación de seguimiento se evidenciaron diferencias estadísticas solamente en las condiciones visual y auditiva, comparadas con la condición basal ($p<0,05$) en el GC (Figura IV.4).

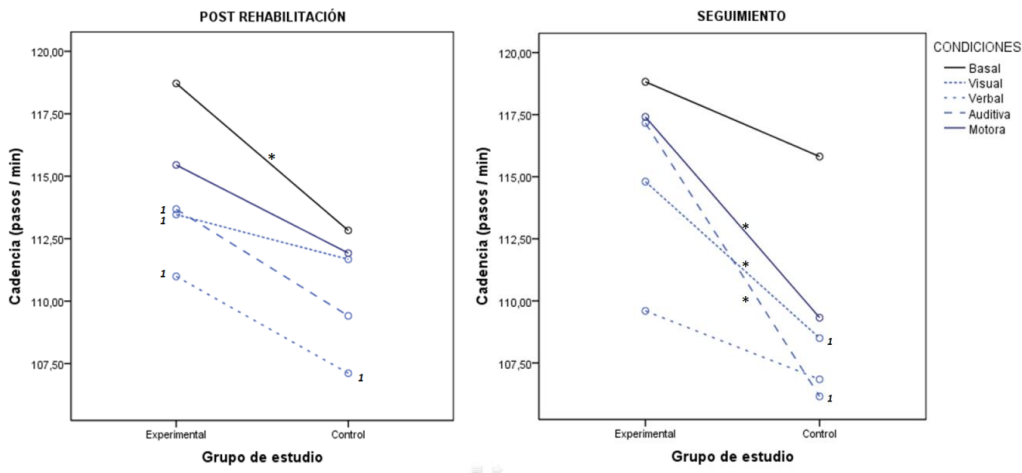


Figura IV.4: Diferencias de cadencia entre grupos y entre condiciones de marcha

Se muestra la cadencia (pasos/minuto) en la medida postrehabilitación (izquierda) y seguimiento (derecha). *Señala diferencias estadísticamente significativas entre grupos. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición basal. 3: diferencias estadísticamente significativas con la condición verbal. Nivel de significación: $p<0,05$.

Tiempo de apoyo bipodal

La interacción de los factores CONDICIONES, REHABILITACIÓN y GRUPO no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el *tiempo de apoyo bipodal* ($p > 0,05$); sin embargo la interacción REHABILITACIÓN * GRUPO sí ($F_{(1,95;74,11)} = 4,01$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 0,09$). Esto indica que el *tiempo de apoyo bipodal* cambió tras la rehabilitación aplicada de distinto modo para el GE y GC, sin importar la condición de marcha evaluada, al igual como ocurre con las variables *velocidad* y *cadencia*. Si se analiza el efecto de cada factor por separado, el factor CONDICIONES tuvo un efecto principal significativo ($F_{(3,74;142,37)} = 15,62$; $p < 0,01$; $\eta^2_p = 0,29$), al igual que el factor REHABILITACIÓN ($F_{(2;76)} = 18,02$; $p < 0,01$; $\eta^2_p = 0,32$) y GRUPO ($F_{(1;38)} = 8,07$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 0,18$).

En la Tabla IV.14 se pueden observar los valores de *tiempo de apoyo bipodal* a lo largo del estudio y los valores p de la comparación entre medidas. Para el GE se observó una disminución significativa del *tiempo de apoyo bipodal* tras la rehabilitación ($p < 0,05$).

Tabla IV. 14: Tiempo de apoyo bipodal durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación

		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Experimental	Basal	29,83 (3,87)	26,74 (2,54)	26,35 (2,25)	<0,01	<0,01	0,77
	Visual	32,12 (4,16)	29,34 (5,18)	28,86 (5,64)	0,03	0,04	0,98
	Verbal	33,56 (5,26)	29,11 (4,30)	28,93 (3,83)	<0,01	<0,01	0,99
	Auditivo	32,28 (4,07)	28,01 (3,27)	28,75 (3,59)	<0,01	<0,01	0,65
	Motor	31,68 (4,11)	27,41 (3,48)	27,56 (2,44)	<0,01	<0,01	0,99
Control	Basal	30,19 (3,30)	30,40 (2,97)	29,29 (2,95)	0,99	0,58	0,11
	Visual	32,14 (4,55)	30,84 (2,45)	32,56 (6,52)	0,63	0,99	0,65
	Verbal	34,06 (5,51)	32,83 (4,29)	31,22 (3,27)	0,65	0,03	0,17
	Auditivo	32,31 (4,02)	31,98 (3,41)	32,69 (3,64)	0,98	0,98	0,77
	Motor	35,21 (5,67)	31,56 (3,40)	30,86 (4,24)	<0,01	<0,01	0,82

Se muestra el tiempo de apoyo bipodal (desviación estándar) en porcentaje del ciclo de marcha. Valor p^1 : comparación de las medidas pre y postrehabilitación. Valor p^2 : comparación de las medidas prerrehabilitación y seguimiento. Valor p^3 : comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p < 0,05$.

Esta mejora del GE se observó en todas las condiciones de marcha valoradas y se mantuvo tras ocho semanas sin terapia ($p<0,05$). En el GC, solamente se observó una disminución del *tiempo de apoyo bipodal* significativo en la condición motora tras el tratamiento recibido, que también se mantuvo en la medida de seguimiento ($p<0,05$). Si se analizan las diferencias entre grupos (Figura IV.5), en la medida postrehabilitación y seguimiento se evidenciaron diferencias entre grupos en todas las condiciones, excepto en la condición visual de la medida postrehabilitación ($p>0,05$), y en la condición visual y verbal de la medida de seguimiento ($p>0,05$).

En relación a las diferencias entre condiciones, en las medidas postrehabilitación solamente se evidencia que, en la condición verbal, ambos grupos de pacientes realizaron un *tiempo de doble apoyo* significativamente mayor que en la condición basal ($p<0,05$). Esto se repitió en la medida de seguimiento, pero además el *tiempo de doble apoyo* también fue significativamente superior en la tarea auditiva (comparada con la TS).

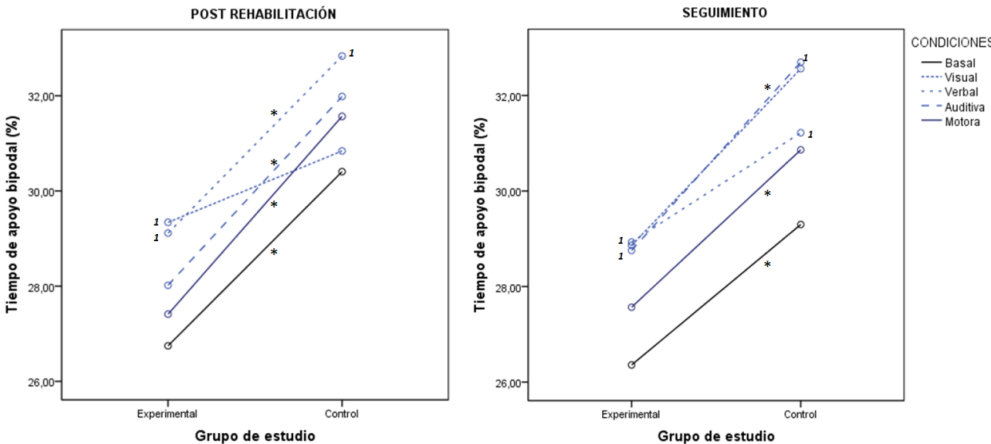


Figura IV.5: Diferencias del tiempo de apoyo bipodal entre grupos y entre condiciones de marcha

Se muestra el tiempo de apoyo bipodal (% del ciclo de marcha) en la medida postrehabilitación (izquierda) y seguimiento (derecha). *Señala diferencias estadísticamente significativas entre grupos. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición basal. 5: diferencias estadísticamente significativas con la condición motora. Nivel de significación: $p<0,05$.

Longitud de paso

La interacción de los factores CONDICIONES, HEMICUERPO, REHABILITACIÓN y GRUPO tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la *longitud de paso* ($F_{(5,84; 222,11)}=2,25$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,56$), lo que significa que las variaciones de esta variable tras el tratamiento son distintas para cada hemicuerpo y además varían en función de las condiciones de marcha valoradas y del grupo al que pertenecen los participantes. Si se analiza el efecto principal de cada factor sobre la *longitud de paso*, fue estadísticamente significativo el efecto del factor CONDICIONES ($F_{(3,72; 141,61)}=9,00$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,19$), REHABILITACIÓN ($F_{(1,9; 72,18)}=8,42$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,33$), HEMICUERPO ($F_{(1; 38)}=9,51$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,20$) y GRUPO ($F_{(1; 38)}=7,09$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,15$).

En la Tabla IV.15 se pueden observar los valores de *longitud de paso* a lo largo del estudio y los valores p de la comparación entre las medidas, de forma aislada por hemicuerpo, condiciones y por grupo. Si se analiza la evolución de las medidas tras los programas de rehabilitación control y experimental, en el GE se observó una mayor *longitud de paso* para ambos hemicuerpos en todas las condiciones ($p<0,05$) y medidas tras la fisioterapia, a excepción del paso evidenciado en el lado B en la condición basal, donde vuelve a disminuir tras ocho semanas sin rehabilitación. En el GC, solamente se evidenció un aumento de la *longitud de paso* significativa del hemicuerpo menos afecto en la condición motora medida en la evaluación de seguimiento ($p<0,05$), siguiendo el mismo comportamiento que se observó en la variable *longitud de zancada*.

Al analizar las diferencias entre hemicuerpos (Figura IV.6), se observó que solamente existían diferencias en la medida postrehabilitación, dentro de las condiciones basal, visual y auditiva para el GE. En estas, el lado B alcanzó *longitudes de paso* significativamente mayores que el hemicuerpo A ($p<0,05$). En el GC, se observaron diferencias entre hemicuerpos en la medida de seguimiento, específicamente en las condiciones basal y auditiva. Inesperadamente, solamente en la condición basal el hemicuerpo B realizó un mejor desempeño que el hemicuerpo A ($p<0,05$).

Tabla IV.15: Longitud de paso en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación

		Grupo Experimental					
		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Lado A	Basal	0,54 (0,20)	0,63 (0,10)	0,62 (0,10)	<0,01	<0,01	0,97
	Visual	0,49 (0,01)	0,58 (0,01)	0,64 (0,03)	<0,01	<0,01	0,26
	Verbal	0,46 (0,01)	0,57 (0,01)	0,56 (0,01)	<0,01	<0,01	0,92
	Auditivo	0,49 (0,02)	0,57 (0,01)	0,57 (0,01)	0,01	<0,01	1,00
	Motor	0,48 (0,01)	0,61 (0,02)	0,58 (0,01)	<0,01	<0,01	0,74
Lado B	Basal	0,54 (0,0)	0,68 (0,0)	0,63 (0,0)	<0,01	<0,01	0,03
	Visual	0,51 (0,02)	0,62 (0,02)	0,60 (0,01)	<0,01	<0,01	0,69
	Verbal	0,49 (0,01)	0,61 (0,01)	0,60 (0,02)	<0,01	<0,01	0,99
	Auditivo	0,53 (0,02)	0,60 (0,01)	0,58 (0,01)	<0,01	0,03	0,51
	Motor	0,51 (0,02)	0,62 (0,03)	0,60 (0,01)	<0,01	<0,01	0,90
		Grupo Control					
		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Lado A	Basal	0,53 (0,30)	0,54 (0,02)	0,55 (0,02)	0,99	0,86	0,86
	Visual	0,50 (0,02)	0,54 (0,01)	0,53 (0,01)	0,17	0,87	0,99
	Verbal	0,48 (0,02)	0,51 (0,02)	0,52 (0,02)	0,65	0,14	0,85
	Auditivo	0,50 (0,02)	0,52 (0,01)	0,53 (0,02)	0,79	0,60	0,95
	Motor	0,51 (0,04)	0,51 (0,01)	0,53 (0,04)	0,99	0,69	0,91
Lado B	Basal	0,56 (0,03)	0,56 (0,02)	0,59 (0,02)	1,00	0,34	0,43
	Visual	0,52 (0,02)	0,56 (0,01)	0,53 (0,02)	0,22	0,93	0,74
	Verbal	0,55 (0,03)	0,52 (0,01)	0,50 (0,02)	0,74	0,52	0,91
	Auditivo	0,52 (0,02)	0,53 (0,02)	0,51 (0,02)	0,93	0,95	0,52
	Motor	0,46 (0,03)	0,53 (0,02)	0,55 (0,03)	0,17	0,02	0,96

Se muestra la longitud de paso (desviación estándar) en metros para el hemicuerpo A (más afecto) y B (no/menos afecto). Valor p^1 : comparación de las medidas pre y postrehabilitación. Valor p^2 : comparación de las medidas prerrehabilitación y seguimiento. Valor p^3 : comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p<0,05$.

En relación a las diferencias entre grupos (Figura IV.7), éstas se observaron en la medida postrehabilitación y seguimiento. Al acabar el periodo de intervención, el GE realizó una *longitud de paso* significativamente mayor que el GC en todas las condiciones de marcha evaluadas ($p<0,05$) con ambos hemicuerpos. De un modo similar, en la medida de

seguimiento, las diferencias entre grupos se observaron en las condiciones basal, visual y auditiva con el hemicuerpo A y en las condiciones visual, verbal y auditiva con el hemicuerpo B ($p<0,05$).

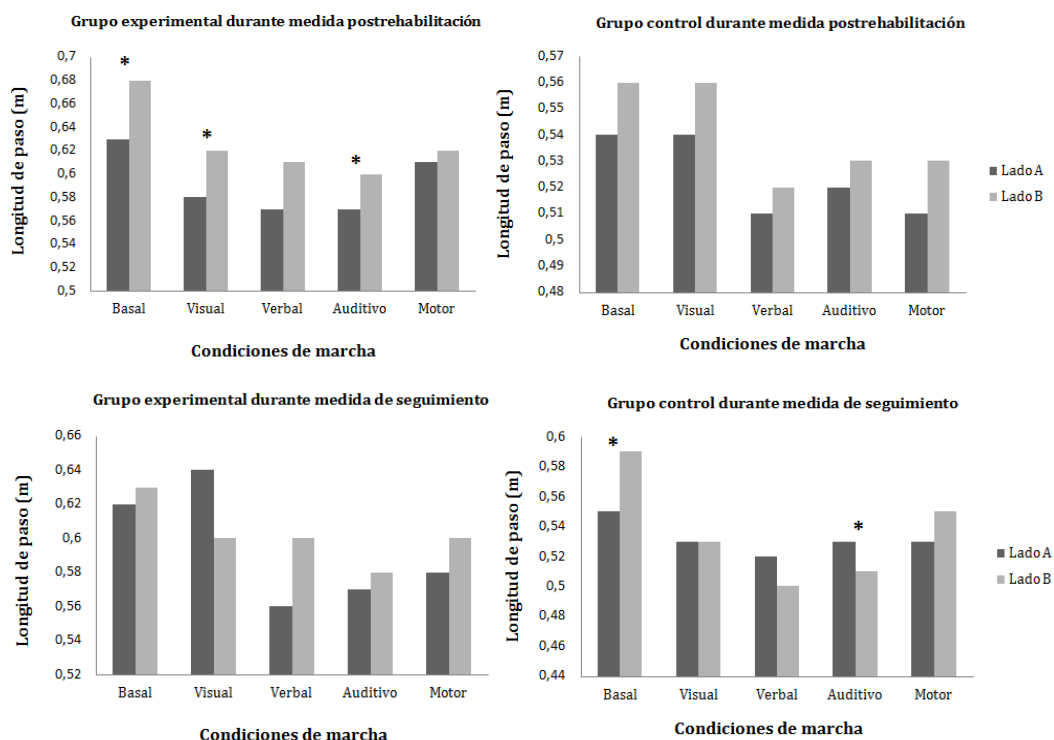


Figura IV.6: Longitud de paso para ambos hemicuerpos medidos en las distintas condiciones y tiempos del estudio

*Se muestra la longitud de paso medio del grupo experimental (izquierda) y grupo control (derecha) observado en las medidas postrehabilitación y seguimiento en cada hemicuerpo. * Diferencias estadísticamente significativas entre Lado A (más afecto por los signos de la EP) y Lado B (menos afecto por los signos de la EP/no afecto). Nivel de significación: $p<0,05$.*

Con respecto a las diferencias entre condiciones (Figura IV.7), tras la rehabilitación, el GE realizó un *paso* significativamente más amplio en la condición de TS que en las condiciones duales con una tarea cognitiva ($p<0,05$). En la evaluación postrehabilitación, no se observó diferencia en la *longitud de paso* realizado entre la condición basal y la tarea motora ($p>0,05$), tanto con el lado A como con el lado B. Asimismo, con este último

lado, tampoco se observaron diferencias con la tarea visual. Por el contrario, en el GC no se observaron diferencias entre condiciones en el tiempo de evaluación postrehabilitación. Sin embargo, en la medida de seguimiento, el GC mostró que con el lado B realizaba una *longitud de paso* mayor y estadísticamente significativa en la condición de TS que en las condiciones duales verbal y auditiva ($p<0,05$). El mismo patrón mostró el GE con el hemicuerpo A, pero, con el hemicuerpo B, esta diferencia solamente se mantuvo con la tarea dual auditiva ($p<0,05$).

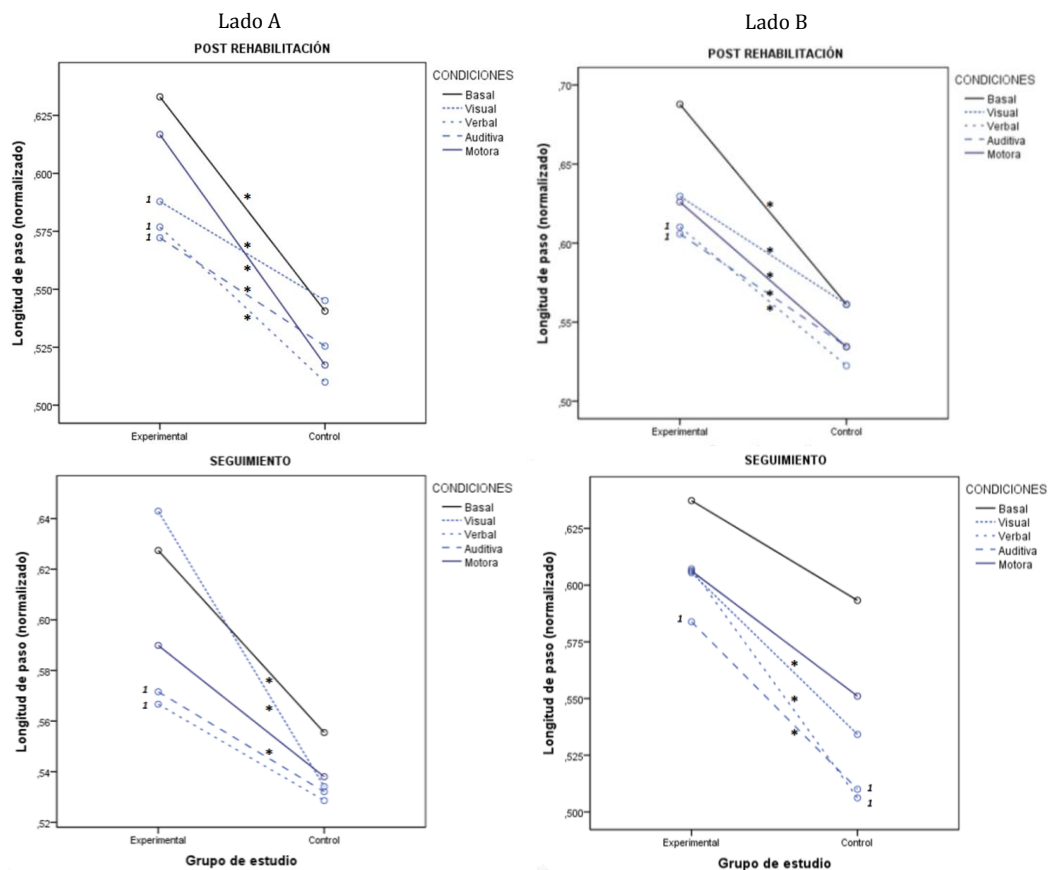


Figura IV.7: Diferencias de la longitud de paso entre grupos y entre condiciones de marcha

Se muestra la longitud de paso (m) para Lado A (izquierda) y lado B (derecha), en la medida postrehabilitación (gráficos centrales) y seguimiento (gráficos inferiores). *Señala diferencias estadísticamente significativas entre grupos. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición de tarea única. 5: diferencias estadísticamente significativas con la condición motora. Nivel de significación: $p<0,05$.

Movimiento de la articulación de tobillo en el plano sagital

El movimiento de la articulación de tobillo se ha descrito en este estudio con las variables *rango de tobillo* y *dorsiflexión máxima en fase de oscilación*. Los resultados en este subapartado, se describen para ambas variables.

A diferencia de lo que ocurre en la *longitud de paso*, la interacción principal de los cuatro factores estudiados en estas variables, no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre ninguna de las dos variables que describen el movimiento de tobillo ($p < 0,05$). Sin embargo, la interacción de los factores REHABILITACIÓN * GRUPO sí tuvo un efecto significativo sobre el *rango de tobillo* ($F_{(1,73; 65,90)} = 3,83$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 0,09$), lo que indica que esta variable varía tras la aplicación de la rehabilitación de manera distinta para cada grupo de estudio, pero que este cambio no está influenciado por las distintas condiciones de marcha valoradas ni por las diferencias entre hemicuerpos debidas a la enfermedad de Parkinson. Asimismo, los factores REHABILITACIÓN ($F_{(1,73; 61,82)} = 7,68$; $p < 0,01$; $\eta^2_p = 0,168$) y CONDICIONES ($F_{(3,67; 139,69)} = 3,63$; $p < 0,01$; $\eta^2_p = 0,087$) tuvieron un efecto significativo aislado sobre el *rango de tobillo*. En la variable *dorsiflexión máxima de tobillo* no se encontró efecto de ninguna interacción entre los factores, solamente se observó un efecto significativo por parte de los factores REHABILITACIÓN ($F_{(1,96; 64,69)} = 3,98$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 0,09$) y CONDICIONES ($F_{(2,93; 111,43)} = 0,41$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 0,01$).

En la Tabla IV.16 se pueden observar los valores de *rango de tobillo* y de *dorsiflexión máxima en fase de oscilación* registrados a lo largo del estudio y los valores p de la comparación entre las medidas de forma aislada por hemicuerpo, condiciones y grupo. Aunque la tendencia general del GE fue aumentar el *rango de tobillo* ligeramente tras la aplicación del tratamiento, este aumento fue estadísticamente significativo en las condiciones basal y motora para el lado A, y en las condiciones visual, verbal y motora para el lado B, lo que se mantuvo en la evaluación de seguimiento. Por otra parte, el GC solamente experimentó cambios significativos tras la rehabilitación en la condición motora en ambos hemicuerpos, al igual como ocurre en la variable *longitud de paso*.

Tabla IV.16: Movimiento del tobillo durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación

Grupo Experimental								
		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3	
Rango (°)	Lado A	Basal	17,8 (4,1)	21,1 (4,4)	19,3 (3,9)	<0,01	0,29	0,11
		Visual	17,4 (4,1)	19,6 (3,8)	20,4 (3,5)	0,16	0,03	0,63
		Verbal	16,8 (4,2)	18,3 (3,1)	18,6 (3,5)	0,48	0,20	0,95
		Auditivo	17,4 (4,4)	18,4 (3,1)	19,8 (3,1)	0,58	0,04	0,11
		Motor	17,8 (4,0)	20,7 (4,5)	20,4 (3,5)	0,04	0,03	0,98
	Lado B	Basal	17,3 (2,7)	20,0 (5,6)	19,7 (4,8)	0,16	0,16	0,96
		Visual	16,6 (3,2)	19,1 (4,1)	20,9 (4,3)	0,01	<0,01	0,18
		Verbal	15,9 (3,5)	19,7 (6,2)	20,0 (4,7)	<0,01	<0,01	0,97
		Auditivo	17,8 (6,6)	18,7 (4,4)	19,9 (4,5)	0,84	0,24	0,10
		Motor	16,1 (2,9)	19,8 (4,4)	20,4 (4,8)	0,00	<0,01	0,87
Dorsiflexión (°)	Lado A	Basal	3,48 (5,1)	5,10 (5,3)	3,47 (4,4)	0,19	1,00	0,20
		Visual	3,85 (4,6)	5,09 (5,6)	4,38 (4,9)	0,46	0,92	0,85
		Verbal	4,27 (5,4)	3,83 (6,1)	3,16 (4,3)	0,93	0,46	0,84
		Auditivo	4,39 (4,9)	5,81 (5,8)	3,73 (4,2)	0,30	0,77	0,09
		Motor	3,90 (5,2)	4,33 (5,7)	3,25 (3,7)	0,93	0,81	0,56
	Lado B	Basal	4,08 (3,3)	3,52 (3,4)	2,67 (3,8)	0,99	0,90	0,75
		Visual	5,02 (4,4)	4,21 (4,0)	3,58 (3,7)	0,48	0,37	0,90
		Verbal	4,14 (4,1)	3,11 (4,1)	2,95 (3,2)	0,36	0,42	0,99
		Auditivo	3,99 (5,4)	4,68 (4,9)	3,53 (2,7)	0,78	0,95	0,56
		Motor	8,26 (6,9)	3,28 (3,2)	2,97 (3,2)	0,20	0,17	0,98
Grupo Control								
		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3	
Rango (°)	Lado A	Basal	17,8 (5,3)	17,3 (4,5)	18,3 (4,4)	0,95	0,95	0,66
		Visual	17,3 (5,8)	18,8 (3,0)	18,4 (4,2)	0,58	0,80	0,93
		Verbal	16,7 (6,4)	16,8 (3,9)	18,7 (3,9)	1,00	0,25	0,07
		Auditivo	19,0 (4,2)	17,5 (3,5)	18,4 (4,1)	0,32	0,93	0,49
		Motor	14,4 (5,2)	17,3 (4,1)	16,9 (3,5)	0,10	0,10	0,97

Tabla IV.16: Movimiento del tobillo durante la marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación (continuación)

		Grupo Control					
		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Rango (°)	Lado B						
	Basal	19,4 (8,5)	17,7 (4,2)	18,3 (4,0)	0,63	0,81	0,86
	Visual	17,0 (4,7)	17,5 (4,1)	18,0 (3,4)	0,92	0,69	0,88
	Verbal	17,2 (4,9)	16,9 (3,4)	17,5 (3,4)	0,99	0,98	0,89
	Auditivo	18,5 (4,0)	16,8 (2,7)	16,9 (3,6)	0,61	0,64	0,99
	Motor	15,0 (4,5)	16,9 (3,8)	17,8 (3,7)	0,25	0,01	0,77
Dorsiflexión (°)	Lado A						
	Basal	3,88 (5,6)	5,01 (4,3)	4,21 (3,7)	0,61	0,98	0,82
	Visual	3,52 (4,8)	5,35 (4,3)	3,31 (3,5)	0,27	0,99	0,23
	Verbal	4,37 (4,8)	5,11 (4,3)	3,36 (3,3)	0,82	0,65	0,27
	Auditivo	3,57 (5,1)	5,33 (3,7)	3,47 (3,8)	0,25	0,99	0,26
	Motor	4,53 (4,8)	5,72 (3,9)	3,79 (3,4)	0,49	0,82	0,21
	Lado B						
	Basal	7,02 (1,6)	5,02 (3,1)	2,65 (3,8)	0,82	0,30	0,10
	Visual	2,86 (3,0)	5,70 (3,1)	2,51 (4,1)	<0,01	0,98	0,03
	Verbal	3,55 (3,3)	5,42 (3,0)	2,64 (3,8)	0,07	0,73	0,02
	Auditivo	3,39 (3,7)	5,12 (2,9)	2,32 (4,0)	0,20	0,72	0,05
	Motor	3,09 (4,1)	4,91 (2,7)	2,57 (4,3)	0,91	0,99	0,09

Se muestra el rango y la media de la dorsiflexión máxima (desviación estándar) en unidad de grados (°) para el hemicuerpo A (más afecto) y B (no/menos afecto). Se muestra el valor p para la comparación de las medidas pre y postrehabilitación (p^1), prerehabilitación y seguimiento (p^2) y para la comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento (p^3). Nivel de significación: $p < 0,05$.

Por otra parte, en la variable *dorsiflexión máxima de tobillo*, el GE mantuvo un ángulo de movimiento cercano a la posición neutra tanto antes como después de la intervención. Los cambios estadísticos significativos observados en esta variable ocurrieron en el GC, donde la dorsiflexión lograda postrehabilitación, fue significativamente mayor que antes del tratamiento ($p < 0,05$) en las condiciones visual y verbal con el hemicuerpo B. Al analizar las comparaciones entre grupos, estas solamente se observaron en la variable *rango de tobillo* y principalmente durante la condición motora, tal y como se muestra en la Figura IV.8. En las diferencias significativas entre grupos, el GE realizó un rango de movimiento de tobillo más amplio que el GC de aproximadamente 3° ($p < 0,05$).

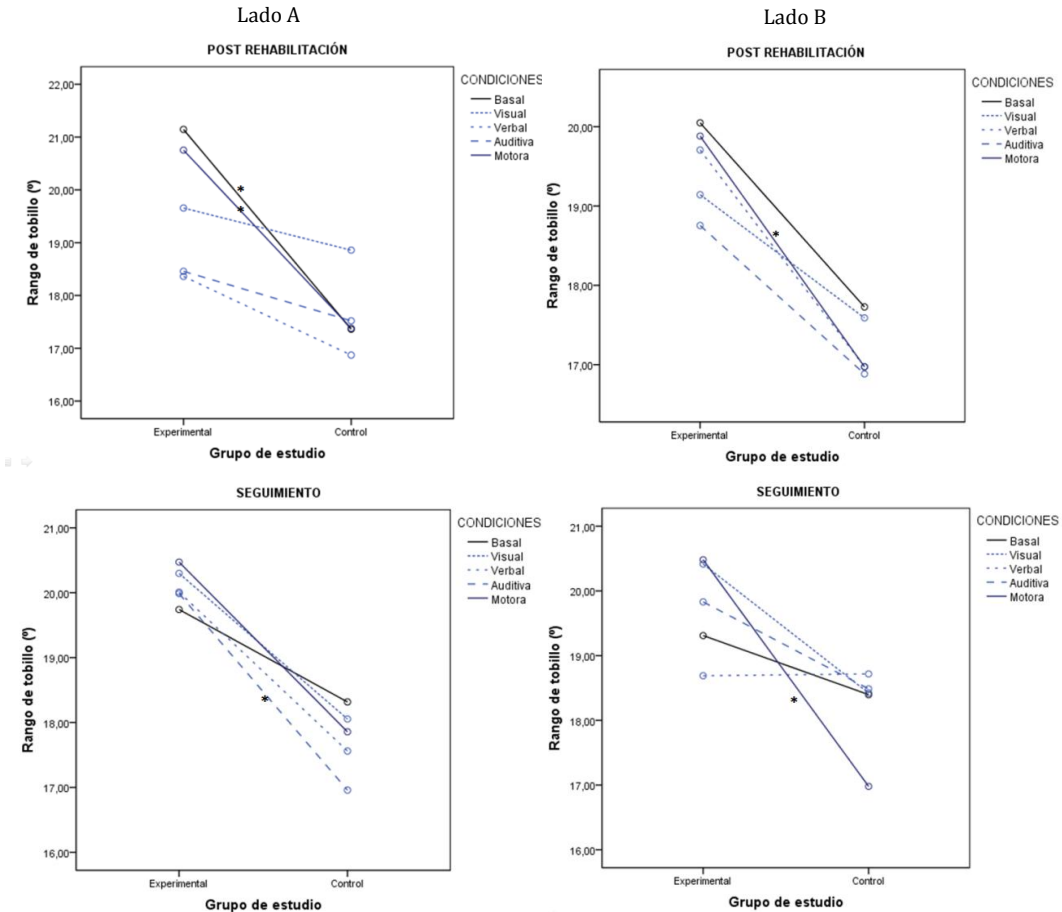


Figura IV.8: Diferencias del rango articular de tobillo entre grupos y condiciones de marcha
Se muestra el rango de tobillo del Lado A (izquierda) y Lado B (derecha) observado en las medidas postrehabilitación y seguimiento en cada grupo del estudio. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre grupos. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición de tarea única. 5: diferencias estadísticamente significativas con la condición motora. Nivel de significación: $p < 0,05$.

En relación a las diferencias entre condiciones, al contrario de lo que ocurre en el resto de las variables analizadas en este estudio, no se observaron diferencias en la medida postrehabilitación o seguimiento en la variable *rango de tobillo* ($p > 0,05$). A diferencia de lo anterior, el GE realizó una *dorsiflexión máxima de tobillo* significativamente menor en la condición verbal, comparada con la condición auditiva y visual ($p < 0,05$) con el lado B durante la medida postrehabilitación. Por

último, en las dos variables que describen el movimiento de tobillo en este estudio, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre hemicuerpos ($p>0,05$).

Flexión máxima de la articulación de rodilla en fase de oscilación

En la variable *flexión máxima de rodilla en fase de oscilación*, se observó un efecto estadísticamente significativo de la interacción REHABILITACIÓN * CONDICIONES * GRUPO ($F_{(4,97; 189,11)}=2,31$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,06$). Esto significa que el valor de este ángulo cambia tras la rehabilitación con un comportamiento diferente según las condiciones de marcha valoradas y estas variaciones, además, son distintas para cada grupo. Solamente el efecto principal del factor CONDICIONES fue estadísticamente significativo ($F_{(3,40; 129,30)}=6,80$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,15$) al analizar los factores de manera independiente.

En la Tabla IV.17 se pueden observar los valores de *flexión máxima de rodilla* en fase de oscilación registrados a lo largo del estudio y los valores p de la comparación entre las medidas prerrehabilitación, postrehabilitación y seguimiento, de forma aislada por hemicuerpo, condiciones y grupo. En relación a los cambios tras la intervención, el GE aumentó significativamente el ángulo de flexión en oscilación del lado A ($p<0,05$) durante la medida postrehabilitación y en todas las condiciones de marcha (excepto en la condición motora), lo que perduró en la medida de seguimiento. Por otra parte, el GC mostró un aumento significativo del ángulo de flexión tras la rehabilitación con el mismo lado A, pero únicamente en la condición visual ($p<0,05$), a diferencia de lo que se ha observado en variables anteriores donde los cambios significativos se observaron en la condición motora.

Con respecto a las diferencias entre hemicuerpos, solamente son estadísticamente significativas para el GE, específicamente en la condición basal de la medida postrehabilitación, y en la condición visual de la medida de seguimiento ($p<0,05$). A diferencia de lo que se observó en la variable *longitud de paso*, la *máxima flexión de rodilla* alcanzada en las condiciones mencionadas anteriormente, fue realizada por el hemicuerpo A, que es el más afectado por los signos de la enfermedad.

Tabla IV.17: Flexión de rodilla durante la fase de oscilación del ciclo de marcha en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación

<i>Grupo Experimental</i>							
		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Lado A	Basal	55,91 (7,5)	60,66 (6,5)	57,82 (7,5)	<0,01	0,56	0,02
	Visual	55,17 (6,9)	58,93 (5,9)	59,72 (8,9)	0,02	0,09	0,91
	Verbal	56,62 (7,1)	56,61 (6,3)	56,93 (8,4)	0,03	0,12	0,99
	Auditivo	53,19 (9,5)	57,71 (5,8)	57,63 (7,4)	0,01	0,04	1,00
	Motor	56,19 (7,5)	57,79 (13,7)	59,23 (7,6)	0,85	0,21	0,88
Lado B	Basal	56,78 (7,5)	57,88 (7,6)	56,36 (7,7)	0,69	0,98	0,36
	Visual	56,26 (8,6)	57,64 (6,9)	57,03 (8,7)	0,70	0,95	0,95
	Verbal	54,02 (8,5)	55,81 (7,1)	55,08 (7,9)	0,34	0,79	0,82
	Auditivo	55,13 (8,7)	57,58 (6,6)	55,84 (7,3)	0,17	0,95	0,57
	Motor	57,07 (8,5)	59,62 (7,6)	58,28 (6,7)	0,24	0,79	0,70
<i>Grupo Control</i>							
		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Lado A	Basal	55,51 (10,2)	55,46 (7,2)	55,75 (7,4)	1,00	0,99	0,99
	Visual	53,11 (10,7)	57,01 (6,2)	54,15 (7,1)	0,06	0,96	0,20
	Verbal	54,44 (8,5)	54,38 (6,2)	53,81 (7,5)	1,00	0,98	0,96
	Auditivo	55,88 (7,7)	56,39 (4,9)	52,67 (8,3)	0,98	0,32	0,07
	Motor	54,22 (8,2)	56,44 (6,5)	55,77 (6,6)	0,77	0,81	0,99
Lado B	Basal	56,32 (9,3)	57,83 (6,8)	56,79 (7,9)	0,57	0,98	0,76
	Visual	55,85 (9,3)	55,81 (6,0)	55,47 (8,9)	1,00	0,99	0,99
	Verbal	55,21 (7,8)	54,76 (7,6)	54,45 (9,7)	0,98	0,94	0,98
	Auditivo	56,94 (5,5)	56,38 (5,0)	53,07 (9,3)	0,97	0,09	0,17
	Motor	54,37 (7,3)	56,69 (6,4)	56,06 (7,0)	0,44	0,69	0,97

Se muestra el ángulo de flexión máxima de rodilla (desviación estándar) en grados (°) para el hemicuerpo A (más afecto) y B (no/menos afecto). p valor¹: comparación de las medidas pre y postrehabilitación. p valor²: comparación de las medidas prerrehabilitación y seguimiento. p valor³: comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p < 0,05$.

Al analizar las diferencias entre grupos (Figura IV.9), éstas solamente se observaron en el lado A, en la condición basal de la medida postrehabilitación ($p < 0,05$) y en la condición visual de la medida de seguimiento ($p < 0,05$), demostrado que el desempeño realizado por los pacientes en esta variable, es similar a lo largo del estudio.

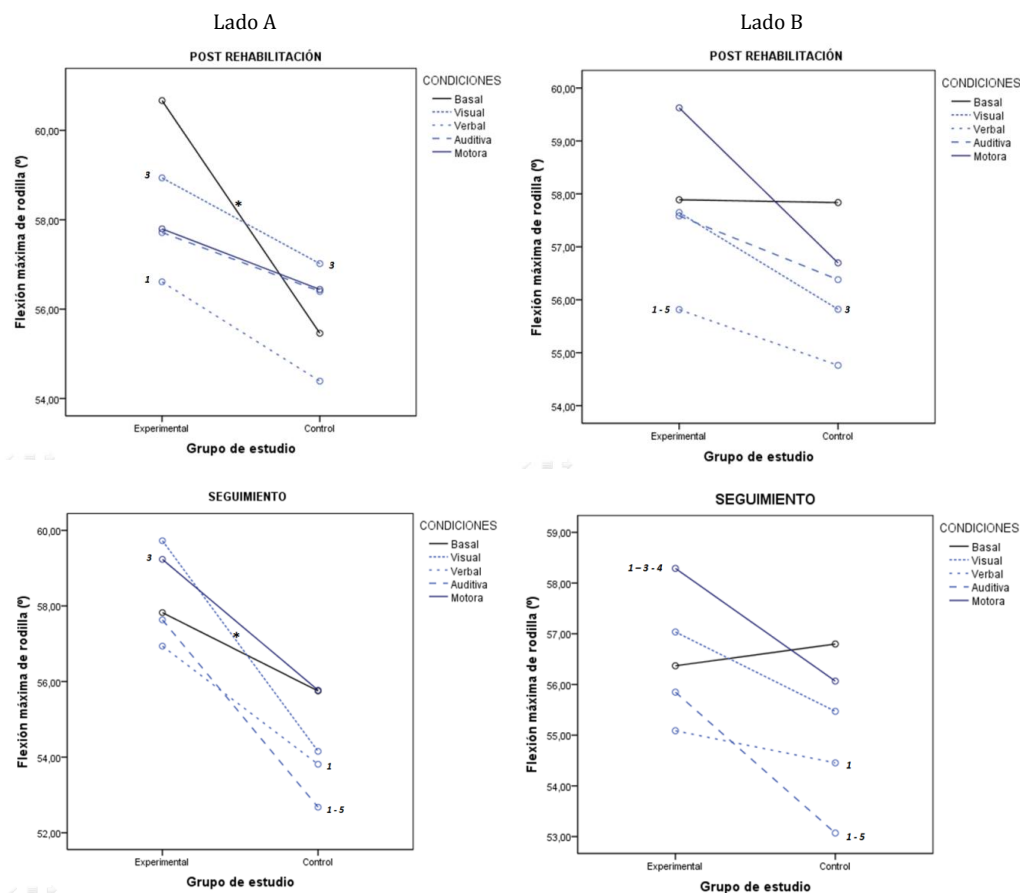


Figura IV.9: Diferencias para la flexión máxima de rodilla en fase de oscilación entre grupos y condiciones de marcha

Se muestra la flexión máxima de rodilla del Lado A (izquierda) y Lado B (derecha) observado en las medidas postrehabilitación y seguimiento en cada grupo del estudio. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre grupos. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición basal. 3: diferencias estadísticamente significativas con la condición verbal. 4: diferencias estadísticamente significativas con la condición auditiva. 5: diferencias estadísticamente significativas con la condición motora. Nivel de significación: $p < 0,05$.

Con respecto al comportamiento de la flexión máxima de rodilla alcanzada en las distintas condiciones de marcha (Figura IV.9), los pacientes del GE realizaron una flexión significativamente menor en la condición verbal ($p < 0,05$) comparada con la condición basal con ambos hemicuerpos durante la medida postrehabilitación. El GC tuvo este mismo comportamiento, pero durante a medida de seguimiento. En cambio, en la condición motora de la medida postrehabilitación se observaron valores de flexión

significativamente mayores, que la *flexión de rodilla* alcanzada en la condición verbal con el hemicuerpo B del GE. A su vez, en la medida de seguimiento, los valores de flexión fueron significativamente mayores en la condición motora que en las condiciones verbal y auditiva del GE ($p<0,05$) y, para el GC, en la misma condición auditiva con ambos hemicuerpos ($p<0,05$).

Movimiento de la articulación de cadera en el plano sagital

El movimiento de la articulación de cadera se ha descrito en este estudio con las variables *extensión máxima en fase de apoyo* y *flexión máxima en fase de oscilación*. Los resultados en este apartado, se describen para ambas variables.

En la variable de *extensión máxima de cadera*, la interacción de factores que tuvo un efecto estadísticamente significativo fue REHABILITACIÓN * CONDICIONES ($F_{(6,47;245,84)}=3,23$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,08$). Mientras que, en la variable *flexión máxima de cadera*, la interacción significativa fue REHABILITACIÓN * CONDICIONES * GRUPO ($F_{(7,13;270,93)}=4,14$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,01$). Esto significa que la *flexión de cadera* cambió tras la realización de la rehabilitación de distinto modo en las diferentes condiciones de marcha evaluadas y de manera diferente para cada grupo, al igual como ocurría en la variable *flexión máxima de rodilla en fase de oscilación*. Por el contrario, en la variable de extensión, el cambio tras la rehabilitación fue distinto en las diferentes condiciones de marcha, pero similar para ambos grupos. Si se analiza el efecto principal de los factores de manera aislada, en la *extensión de cadera máxima* tuvo un efecto el factor REHABILITACIÓN ($F_{(2; 76)}=4,55$; $p\leq 0,01$; $\eta^2_p=0,11$) y CONDICIONES ($F_{(3,70; 140,55)}=4,94$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,16$), al igual que en la *flexión máxima en fase de oscilación* (REHABILITACIÓN ($F_{(1,97; 74,89)}=3,49$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,08$), CONDICIONES ($F_{(4; 152)}=9,96$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,21$)).

En la Tabla IV.18 se pueden observar los valores de las variables de movimiento de cadera a lo largo del estudio y los valores p de la comparación entre las medidas, de forma aislada por hemicuerpo, condiciones y grupo. Con respecto a los cambios observados tras la rehabilitación, el GE realizó un aumento del ángulo de *extensión de cadera* estadísticamente significativo con el lado A y B en todas las condiciones

evaluadas ($p<0,05$), sin embargo, este aumento no se mantuvo tras ocho semanas sin fisioterapia. Por el contrario, no se observaron variaciones en la extensión de cadera realizada en el GC ($p>0,05$). Al analizar la evolución de la *flexión máxima de cadera en fase de oscilación*, el GE realizó una flexión significativamente más alta en la condición de TS durante la medida postrehabilitación con el hemicuerpo A ($p<0,05$). Mientras que, el GC mejoró significativamente la *flexión de cadera* en las condiciones visual (durante la medida post) y motora (en medida de seguimiento) con el mismo hemicuerpo ($p<0,05$).

Las diferencias entre hemicuerpos solamente se observaron en la variable *extensión máxima de cadera*. Las personas del GE realizaron un movimiento articular significativamente mayor con el lado B, en comparación con el lado A ($p<0,05$) durante las condiciones visual, verbal y auditiva de la medida de seguimiento.

Tabla IV.18: Movimiento de la cadera en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación

Grupo Experimental								
		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3	
Extensión de cadera (°)	Lado A	Basal	8,59 (4,9)	11,96 (4,4)	9,99 (2,8)	<0,01	0,37	0,08
		Visual	8,05 (4,2)	10,80 (4,7)	9,75 (3,0)	0,01	0,24	0,47
		Verbal	7,94 (4,5)	10,39 (5,0)	8,80 (3,6)	<0,01	0,65	0,12
		Auditivo	7,39 (4,8)	10,34 (4,5)	9,20 (2,6)	<0,01	0,10	0,42
		Motor	8,43 (4,2)	12,05 (6,1)	9,25 (2,7)	<0,01	0,73	0,05
	Lado B	Basal	9,45 (3,8)	12,32 (3,4)	10,78 (2,5)	<0,01	0,46	0,32
		Visual	8,18 (4,4)	10,47 (4,8)	10,65 (3,1)	0,06	0,04	0,99
		Verbal	8,16 (4,1)	10,87 (3,7)	9,97 (3,0)	0,01	0,20	0,58
		Auditivo	8,38 (4,5)	11,36 (2,9)	10,22 (2,7)	0,01	0,25	0,39
		Motor	8,19 (4,8)	11,11 (4,2)	10,28 (2,6)	0,02	0,18	0,78
Flexión de cadera (°)	Lado A	Basal	27,51 (7,7)	30,60 (8,1)	29,73 (4,7)	0,04	0,17	0,81
		Visual	27,44 (7,1)	29,21 (7,1)	30,36 (6,1)	0,57	0,19	0,75
		Verbal	25,95 (7,1)	27,52 (6,8)	28,19 (4,7)	0,28	0,10	0,82
		Auditivo	26,48 (7,8)	28,55 (6,9)	29,54 (4,7)	0,10	0,04	0,70
		Motor	27,47 (7,7)	29,03 (7,9)	29,90 (4,7)	0,43	0,11	0,83
	Lado B	Basal	28,44 (7,9)	30,31 (7,2)	29,27 (5,1)	0,31	0,86	0,69
		Visual	28,07 (7,7)	29,05 (6,8)	29,37 (5,4)	0,86	0,78	0,98
		Verbal	26,38 (7,2)	27,71 (6,3)	27,48 (4,7)	0,55	0,67	0,99
		Auditivo	27,04 (7,3)	28,35 (6,2)	28,38 (4,6)	0,55	0,51	1,00
		Motor	27,57 (7,6)	28,81 (6,0)	29,02 (4,6)	0,74	0,57	0,99

Tabla IV.18: Movimiento de la cadera en condiciones de tarea única y dual, medida antes y después del periodo de rehabilitación (continuación)

Grupo Control								
		PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3	
Extensión de cadera (°)	Lado A	Basal	10,73 (4,3)	10,55 (4,9)	9,50 (4,7)	0,99	0,60	0,66
		Visual	10,40 (3,0)	9,00 (4,6)	9,80 (3,9)	0,52	0,93	0,77
		Verbal	9,76 (4,2)	8,89 (4,9)	9,84 (4,1)	0,59	1,00	0,64
		Auditivo	9,70 (4,3)	9,77 (5,1)	10,00 (4,2)	1,00	0,98	0,99
		Motor	8,86 (3,6)	9,77 (5,0)	9,08 (4,3)	0,84	0,99	0,93
	Lado B	Basal	10,08 (4,3)	11,36 (5,1)	9,54 (4,6)	0,40	0,95	0,30
		Visual	10,29 (4,0)	9,40 (4,2)	9,55 (3,6)	0,81	0,89	0,99
		Verbal	9,66 (4,5)	10,30 (4,7)	9,73 (3,8)	0,90	1,00	0,90
		Auditivo	9,66 (4,8)	10,36 (5,3)	9,12 (4,0)	0,90	0,96	0,45
		Motor	7,61 (5,5)	10,80 (5,2)	8,79 (3,7)	0,03	0,74	0,22
Flexión de cadera (°)	Lado A	Basal	27,35 (8,5)	28,12 (7,5)	30,24 (6,6)	0,92	0,10	0,27
		Visual	26,09 (9,4)	30,78 (6,2)	27,86 (6,7)	0,03	0,70	0,15
		Verbal	25,93 (7,9)	27,31 (6,5)	27,34 (6,6)	0,52	0,57	1,00
		Auditivo	27,54 (7,4)	28,67 (5,3)	28,54 (7,0)	0,67	0,85	0,99
		Motor	25,06 (7,5)	27,77 (6,5)	29,66 (7,4)	0,12	0,00	0,41
	Lado B	Basal	28,30 (6,8)	27,93 (6,2)	30,20 (5,9)	0,99	0,42	0,19
		Visual	27,62 (7,9)	29,35 (5,9)	28,54 (6,7)	0,65	0,94	0,85
		Verbal	27,85 (6,9)	27,38 (6,8)	27,66 (6,3)	0,97	0,99	0,99
		Auditivo	28,47 (6,0)	28,38 (4,1)	28,00 (6,6)	1,00	0,97	0,98
		Motor	26,08 (7,4)	26,41 (5,0)	28,96 (5,6)	0,99	0,14	0,16

Se muestra el ángulo de flexión y extensión máxima de cadera (desviación estándar) en grados (°) para el hemicuerpo A (más afecto) y B (no/menos afecto). p valor¹: comparación de las medidas pre y postrehabilitación. p valor²: comparación de las medidas prerrehabilitación y seguimiento. p valor³: comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p < 0,05$.

En el análisis de las comparaciones por condiciones se observó que el GE realizó una *extensión de cadera* significativamente superior en la condición de TS que, en las condiciones verbal y auditiva durante la medida postrehabilitación, y que las condiciones visual y verbal durante la medida de seguimiento ($p < 0,05$). Por otra parte, en el movimiento de *flexión máxima* realizado por el GC y el GE, se observó un menor rendimiento durante la condición verbal por parte de ambos grupos, comparada con la condición basal ($p < 0,05$), tal y como se muestra en la Figura IV.11. Incluso, durante la medida de seguimiento, se observó que el GE realizó una *flexión* significativamente mayor en la condición visual, auditiva y motora, que en la condición verbal. Igualmente,

el GC también realizó una *flexión* mayor en las condiciones auditiva y motora, comparada con la tarea verbal ($p<0,05$).

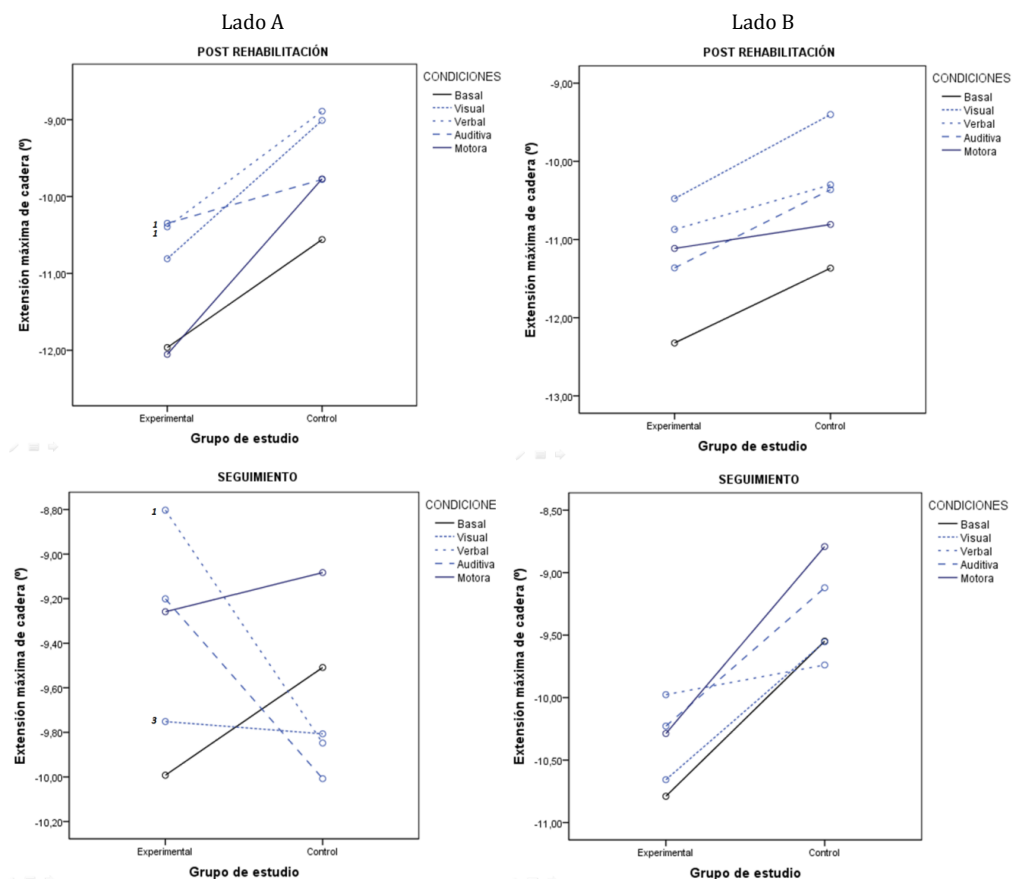


Figura IV.10: Diferencias para la extensión máxima de cadera en fase de apoyo entre y entre condiciones de marcha

Se muestra la extensión máxima de cadera del Lado A (izquierda) y Lado B (derecha) observado en las medidas postrehabilitación y seguimiento en cada grupo del estudio. *Señala diferencias estadísticamente significativas entre grupos. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición basal. 3: diferencias estadísticamente significativas con la condición verbal. 5: diferencias estadísticamente significativas con la condición motora. Nivel de significación: $p<0,05$.

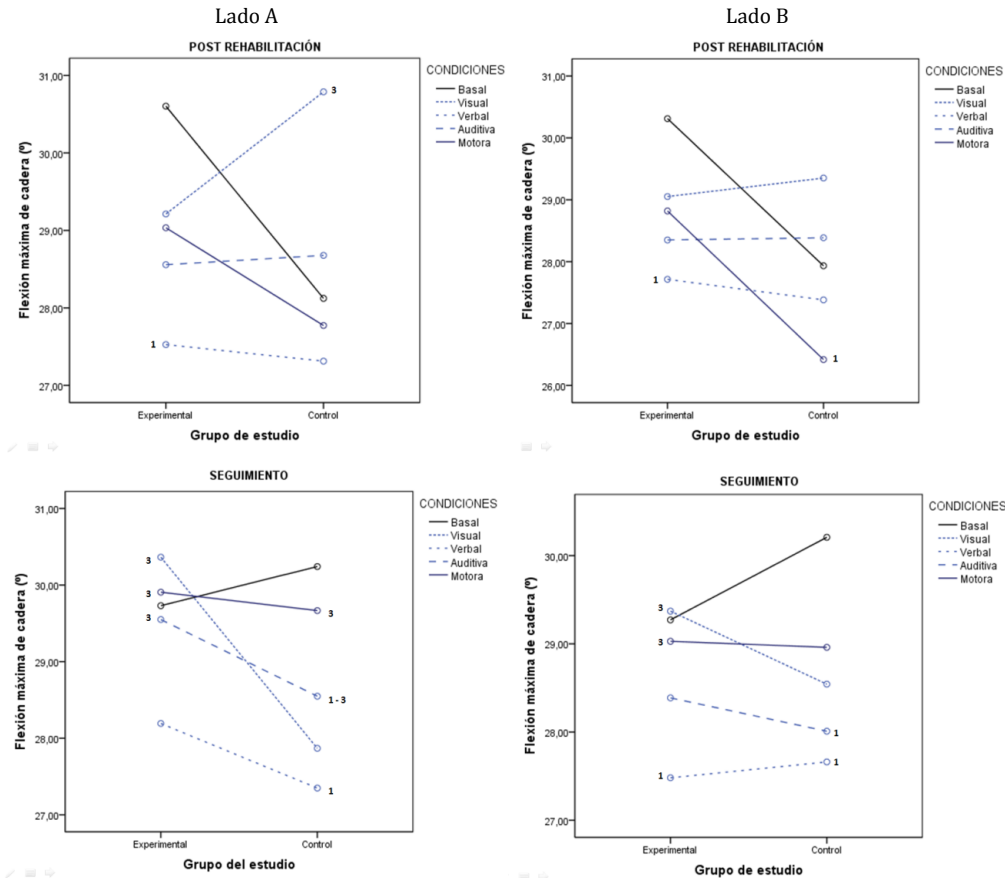


Figura IV.11: Diferencias para la flexión máxima de cadera en fase de apoyo entre y entre condiciones de marcha

Se muestra la flexión máxima de cadera del Lado A (izquierda) y Lado B (derecha) observado en las medidas postrehabilitación y seguimiento en cada grupo del estudio. 1: diferencias estadísticamente significativas con la condición basal. 3: diferencias estadísticamente significativas con la condición verbal. 5: diferencias estadísticamente significativas con la condición motora. Nivel de significación: $p < 0,05$.

IV.4 Efecto de la rehabilitación física sobre los test y escalas clínicas

En este apartado se muestra la evolución de los resultados de los test y escalas clínicas realizadas durante los tres tiempos de evaluación (prerehabilitación, postrehabilitación y seguimiento) para el GE y GC. En primer lugar, se presenta el análisis multivariante

para, posteriormente, detallar el efecto de los factores y su interacción sobre cada una de las variables por separado.

IV.4.1 Análisis Multivariante de Varianza

El análisis multivariante en el que se estudió el efecto de los factores REHABILITACIÓN y GRUPO sobre las variables Tinetti_B, Tinetti_G, Tinetti_{Total}, PDQ-39, FAB, TMT_A, TMT_B, DYPAGS y TUG, mostró una interacción de los factores estadísticamente significativa ($F_{(18,21)}=4,69$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,801$). De forma aislada, tanto el factor grupo ($F_{(18,21)}=9,06$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,89$) como el factor REHABILITACIÓN ($F_{(9,30)}=5,15$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,61$) tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre las variables clínicas mencionadas anteriormente.

IV.4.2 Análisis Univariado

A continuación, se detallan los resultados para cada una de las variables obtenidas mediante test y pruebas clínicas.

Evaluación de la función cognitiva ejecutiva

La función cognitiva ejecutiva fue medida en este estudio a través de los test clínicos *Frontal Assessment Battery* y *Trail Making Test A y B*. En este apartado se describen los resultados de estas dos pruebas en las diferentes medidas realizadas.

Sobre la prueba FAB, los factores REHABILITACIÓN y GRUPO no tuvieron un efecto estadísticamente significativo, al igual que su interacción ($p>0,05$). Esto indica que las puntuaciones del cuestionario FAB no mostraron diferencia entre grupos ($p>0,05$) o cambios significativos en los distintos tiempos de valoración ($p>0,05$). En la Tabla IV.19 se muestran los valores de las puntuaciones obtenidas de la escala a lo largo del estudio y los valores p de la comparación entre las medidas prerrehabilitación, postrehabilitación y seguimiento, para cada uno de los grupos.

Tabla IV.19: Puntuaciones escala FAB antes y después del periodo de rehabilitación

	PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Experimental	16,29 (1,27)	16,80 (0,80)	15,94 (1,39)	1,00	1,00	0,58
Control	16,20 (4,18)	14,76 (2,00)	15,54 (1,63)	0,90	1,00	0,19

Se muestra la puntuación media (desviación estándar) de la escala FAB. p valor¹: comparación de las medidas pre y postrehabilitación. p valor²: comparación de las medidas prerrehabilitación y seguimiento. p valor³: comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p < 0,05$.

Por otra parte, en los resultados del test *Trail Making*, para la parte TMT_A se encontró un efecto estadísticamente significativo de la interacción de los factores REHABILITACIÓN y GRUPO ($F_{(1,75;66,52)}=3,43$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,08$), sin embargo, esto no ocurrió en la parte TMT_B ($p > 0,05$). Al analizar los factores por separado, el factor REHABILITACIÓN solamente tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la parte A ($F_{(1,75;66,52)}=5,02$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,12$), y el factor GRUPO solamente tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la parte B ($F_{(1;38)}=4,58$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,11$).

En la Tabla IV.20 se muestran los valores del tiempo en que los pacientes del GE y GC realizaron ambos sub-test. Se puede observar que, el GE disminuye significativamente el tiempo de ejecución de la parte A en la valoración de seguimiento, en comparación con la valoración postrehabilitación.

Tabla IV.20: Tiempo de ejecución del test TMT_{A-B} medido antes y después del periodo de rehabilitación

<i>Grupo Experimental</i>						
	PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
TMT _A	51,30 (28,10)	48,86 (14,51)*	40,55 (11,58)*	1,00	0,12	0,05
TMT _B	105,05 (58,45)	106,74 (99,02)	102,0 (36,53)	1,00	1,00	1,00
<i>Grupo Control</i>						
	PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
TMT _A	58,74 (45,46)	72,73 (42,55)	60,19 (35,26)	0,02	1,00	<0,01
TMT _B	132,08 (49,54)	145,36 (61,17)	126,36 (51,71)	1,00	1,00	1,00

*Se muestra el tiempo medio (desviación estándar) en segundos. p valor¹: comparación de las medidas pre y postrehabilitación. p valor²: comparación de las medidas prerrehabilitación y seguimiento. p valor³: comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Se señala con *, en la prueba y tiempo de evaluación, las diferencias significativas entre grupos. Nivel de significación: $p < 0,05$.*

Por otra parte, el GC también muestra cambios en la parte A del test, pero aumentando el tiempo de ejecución de la prueba en la evaluación postrehabilitación ($p<0,05$). Sin embargo, en la evaluación de seguimiento, se observa una disminución significativa, igualando el tiempo realizado antes de comenzar la terapia física.

En relación a las comparaciones entre grupos, solamente se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0,01$) en el sub test A, durante las dos medidas tras el periodo de intervención, en las cuales el GE realizó un tiempo menor de ejecución que el GC de 20 segundos aproximadamente.

Evaluación clínica de marcha y equilibrio

Se emplearon los test *Dynamic Parkinson Gait Scale*, *Tinetii Mobility Test* y *Timed Up and Go Test* para evaluar la marcha, el equilibrio, la movilidad y el riesgo de caídas como habitualmente se evalúan estas funciones en el ámbito clínico.

Sobre la escala DYPAGS, tuvieron un efecto estadísticamente significativo ambos factores, REHABILITACIÓN ($F_{(1,50;57,16)}=13,98$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,27$) y GRUPO ($F_{(1; 38)}=28,33$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,42$), al igual que su interacción ($F_{(1,50; 57,16)}=11,33$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,23$). En la Tabla IV.21 se muestran las puntuaciones de la escala para cada uno de los grupos en los diferentes tiempos de evaluación, revelando que el GE mejoraba el desempeño en la escala DYPAGS en la evaluación postrehabilitación, y que esta mejoría se mantenía en la medida de seguimiento ($p<0,05$). El GC también mejoró significativamente su desempeño en la escala, pero esto se observó solamente en la medida de seguimiento.

Tabla IV.21: Puntuaciones escala DYPAGS medida antes y después del periodo de rehabilitación

	PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Experimental	6,15 (2,92)	2,18 (1,68)*	2,94 (2,30)*	<0,01	<0,01	0,21
Control	8,06 (4,46)	8,75 (2,98)	5,92 (2,88)	1,00	0,06	<0,01

*Se muestra la puntuación media (desviación estándar) de la escala. Valor p^1 : comparación de las medidas pre y postrehabilitación. Valor p^2 : comparación de las medidas prerehabilitación y seguimiento. Valor p^3 : comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Se señala con *, en la prueba y tiempo de evaluación, las diferencias significativas entre grupos. Nivel de significación: $p<0,05$.*

En relación a las diferencias entre GE y CG, estas fueron estadísticamente significativas en los tiempos de medida postrehabilitación y seguimiento ($p<0,01$), en las cuales el GE realizó un mejor desempeño que el GC durante la evaluación de marcha con la prueba DYPAGS.

Con respecto a la prueba Tinetti, se ha analizado el efecto de los factores sobre la puntuación total de la y sobre la parte que evalúa el equilibrio y la marcha por separado. Sobre la puntuación total, se observó un efecto estadísticamente significativo de la interacción de los factores REHABILITACIÓN y GRUPO ($F_{(1,54;58,83)}=31,48$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,45$), así como de cada uno por separado (REHABILITACIÓN ($F_{(1,54; 58,83)}=5,68$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,13$), GRUPO ($F_{(1; 38)}=36,45$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,49$). Esto mismo ocurrió sobre la parte que evaluaba equilibrio (REHABILITACIÓN ($F_{(2;76)}=3,70$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,10$), GRUPO ($F_{(1; 38)}=27,23$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,41$) e interacción ($F_{(2;76)}=13,53$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,26$)), sin embargo, sobre la parte de la escala que evaluaba marcha, solamente se observó un efecto estadísticamente significativo del factor GRUPO ($F_{(1;38)}=4,77$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,11$) y de su interacción con el factor REHABILITACIÓN ($F_{(2;76)}=4,75$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,11$). En la Tabla IV.22 se muestran las puntuaciones del test para cada grupo y en los diferentes tiempos de medida. En la puntuación Tinetti_{TOTAL}, ambos grupos muestran cambios estadísticamente significativos ($p<0,05$), aunque la evolución no fue la misma. Mientras que el GE aumenta su puntuación en la medida postrehabilitación, el GC disminuyó su desempeño. Sin embargo, la mejoría observada del GE en la puntuación Tinetti_{TOTAL} no perduró durante la medida de seguimiento. Además, se pudo observar, que la disminución en la puntuación Tinetti_{TOTAL} del GC fue debida a que este grupo tuvo un peor desempeño estadísticamente significativo en la parte de equilibrio ($p<0,05$), mientras que en la parte de marcha se mantuvo sin cambios durante los tres tiempos de evaluación del estudio. Por el contrario, el GE mejora la puntuación de marcha y equilibrio de manera significativa ($p<0,05$) pero solamente durante la evaluación postrehabilitación. Las diferencias estadísticamente significativas entre grupos se observaron en la puntuación Tinetti_{TOTAL} y en los subtest de equilibrio y marcha durante las medidas postrehabilitación y seguimiento ($p<0,01$), donde el GE mostró un mejor desempeño.

Tabla IV.22: Puntuaciones de la escala Tinetti medida antes y después del periodo de rehabilitación

<i>Grupo Experimental</i>						
	PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Tinetti _B	11,84 (2,32)	14,27 (3,20)*	12,88 (1,85)*	<0,01	0,21	0,09
Tinetti _G	9,73 (1,67)	10,93 (2,45)*	10,50 (1,12)*	0,03	0,10	1,00
Tinetti _{TOTAL}	21,57 (3,36)	26,35 (1,02)*	23,56 (2,57)*	<0,01	0,04	<0,01
<i>Grupo Control</i>						
	PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Tinetti _B	12,40 (1,89)	10,33 (1,59)	9,30 (1,69)	0,04	<0,01	0,49
Tinetti _G	9,86 (1,79)	9,08 (1,63)	9,60 (0,94)	0,43	1,00	0,97
Tinetti _{TOTAL}	22,26 (3,21)	19,41 (2,35)	18,90 (2,43)	<0,01	<0,01	1,00

*Se muestran las puntuaciones medias (desviación estándar). p valor¹: comparación de las medidas pre y postrehabilitación. p valor²: comparación de las medidas prerehabilitación y seguimiento. p valor³: comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Se señala con *, en la prueba y tiempo de evaluación, las diferencias significativas entre grupos. Nivel de significación: $p < 0,05$.*

Sobre el test TUG se observó un efecto estadísticamente significativo de los factores REHABILITACIÓN ($F_{(1,82;69,49)}=10,46$; $p < 0,01$; $\eta^2_p=0,27$) y GRUPO ($F_{(1,38)}=15,86$; $p < 0,01$; $\eta^2_p=0,29$), al igual que de su interacción ($F_{(1,82; 69,49)}=4,08$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,10$). En la Tabla IV.23 se muestra el tiempo en que las personas del GE y GC, realizaron la prueba. En ella se muestra que el GE disminuyó el tiempo de ejecución de la prueba TUG tras el periodo de intervención, lo que se comprobó tanto en la medida postrehabilitación como en la de seguimiento ($p < 0,01$). Por otra parte, el GE mostró igualmente una evolución positiva y, estadísticamente significativa, pero solamente durante la medida de seguimiento.

Tabla IV.23: Tiempo de ejecución del test TUG evaluado antes y después del periodo de rehabilitación

	PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Experimental	10,95 (3,19)	8,31 (1,17)*	8,86 (1,54)*	<0,01	<0,01	0,66
Control	12,16 (2,68)	11,84 (2,59)	10,42 (1,30)	1,00	0,07	0,02

*Se muestra el tiempo medio (desviación estándar) medido en segundos. p valor¹: comparación de las medidas pre y postrehabilitación. p valor²: comparación de las medidas prerehabilitación y seguimiento. p valor³: comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Se señala con *, en la prueba y tiempo de evaluación, las diferencias significativas entre grupos. Nivel de significación: $p < 0,05$.*

Evaluación de la calidad de vida

El cuestionario *Parkinson's Disease Questionnaire-39* fue utilizado en el estudio para evaluar la calidad de vida de las personas con EP. Sobre la escala PDQ-39 solamente se observó un efecto estadísticamente significativo del factor REHABILITACIÓN ($F_{(2,76)}=4,67$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,11$), no así del factor GRUPO o de su interacción ($p>0,05$).

En la Tabla IV.24 se muestra que el GE disminuyó significativamente la puntuación en el test PDQ-39 tras el periodo de intervención y que, además, este cambio perduró en la medida de seguimiento ($p<0,01$), indicando una mejor percepción de la calidad de vida en las personas que integran el GE. Por el contrario, no se evidenciaron cambios en el GC. A pesar del comportamiento desigual de cada grupo, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre GE y GC en las medidas postrehabilitación o seguimiento ($p>0,05$).

Tabla IV.24: Puntuaciones de la escala PDQ-39 evaluada antes y después del periodo de rehabilitación

	PRE	POST	SEGUIMIENTO	p^1	p^2	p^3
Experimental	20,10 (10,72)	13,43 (7,27)	13,59 (8,38)	<0,01	<0,01	1,00
Control	19,10 (6,24)	18,64 (9,59)	18,09 (6,34)	1,00	1,00	1,00

Se muestra el tiempo medio (desviación estándar) medido en segundos. Valor p^1 : comparación de las medidas pre y postrehabilitación. Valor p^2 : comparación de las medidas prerehabilitación y seguimiento. Valor p^3 : comparación entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p<0,05$.

IV.5 Análisis de la marcha entre personas sanas y con enfermedad de Parkinson tras realizar rehabilitación física

En este apartado se presentan los resultados derivados del análisis que compara el desempeño de la marcha de las personas con enfermedad de Parkinson de los grupos experimental y control, con el grupo de personas sanas de la misma edad. Este análisis se ha realizado con las medidas registradas tras la intervención, por lo que los grupos de comparaciones son tres: pacientes del programa de rehabilitación experimental, pacientes del programa de rehabilitación control y sujetos sanos. En primer lugar, se

presenta el análisis multivariante para, posteriormente, detallar el efecto de los factores y su interacción sobre cada una de las variables por separado. Para facilitar la comprensión de los resultados, en el Anexo VI se muestran todas las comparaciones por pares de medida en tablas resumen.

IV.5.1 Análisis Multivariante de la Varianza

El análisis multivariante en el que se estudió el efecto de los factores CONDICIONES y GRUPO sobre las variables *velocidad, longitud de zancada, duración de zancada, cadencia y tiempo de apoyo bipodal*, registradas en la evaluación postrehabilitación, mostró una interacción de los factores que no fue estadísticamente significativa ($p>0,05$).

Para las variables *longitud de paso, rango de tobillo, dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación, flexión máxima de rodilla en fase de oscilación, extensión máxima de cadera en fase de apoyo y flexión máxima de cadera en fase de oscilación*, registradas en la evaluación postrehabilitación y en las que se recogían los datos para cada extremidad, se realizó un análisis de multivarianza con los mismos factores (i.e. CONDICIONES y GRUPO) y además se añadió el factor HEMICUERPO. Este análisis mostró que la interacción de los factores era estadísticamente significativa ($F_{(48; 1880)}=1,21; p<0,05; \eta^2_p=0,30$).

IV.3.2 Análisis Univariado

En primer lugar, se detallan los resultados para las variables que cuentan con los factores CONDICIONES y GRUPO y luego para las que, además, se analiza el efecto del HEMICUERPO. En este apartado solamente se muestra el efecto de las interacciones donde tiene participación el factor GRUPO, debido a que los efectos y contrastes entre condiciones y hemicuerpos ya se han descritos en apartados anteriores para todos los participantes de la muestra. Únicamente se describe la diferencia de los grupos de pacientes con respecto al grupo de personas sin patología. Como se ha mencionado en el apartado IV.2, con el objetivo de facilitar la descripción de la comparación entre sujetos sanos y los grupos de pacientes, se ha calculado el desempeño de los pacientes en relación al desempeño de los voluntarios sanos, a través de un porcentaje de referencia.

Velocidad

La interacción principal CONDICIONES * GRUPO tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la *velocidad* de marcha ($F_{(5,65; 226,09)}=1,35$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,03$), lo que evidenció que tras acabar los programas de rehabilitación control y experimental, la *velocidad* varía en las distintas condiciones y que esta variación es diferente para cada uno de los grupos analizados. De manera independiente, el efecto del factor GRUPO también fue estadísticamente significativo ($F_{(2,80)}=9,48$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,19$).

El GC realizó una *velocidad* significativamente menor que el GS ($p<0,05$) de hasta un 16% menos (Tabla IV.25) en todas las condiciones de marcha evaluadas. Para el GE, estas diferencias significativas solamente se observaron en la condición motora, donde alcanzó un 7% más de *velocidad* ($p<0,05$) que el GS. A diferencia de lo que se observó en la evaluación prerrehabilitación, el grupo experimental normaliza la *velocidad* de marcha hasta alcanzar los valores de los sujetos sanos. Otro aspecto observado en esta comparación es que el patrón de *velocidad* a través de las distintas condiciones sigue una tendencia similar en los tres grupos del estudio. Es decir, dentro de cada grupo, los valores más bajos de *velocidad* se observaron en la condición de marcha junto a una tarea verbal y, los más altos, en la condición basal.

Longitud de zancada

En la variable *longitud de zancada* no se observó un efecto estadísticamente significativo de la interacción CONDICIONES * GRUPO, pero sí del efecto principal y aislado de la variable independiente GRUPO ($F_{(2,80)}=9,36$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,19$). Esto significa que los grupos realizan diferentes longitudes de manera global, sin importar la condición de marcha que se analice.

Al igual que en la variable *velocidad*, se observó que el GC realizó una *longitud de zancada* significativamente inferior que el GS en todas las condiciones de marcha, excepto en la condición visual ($p<0,05$), en la que el déficit de longitud alcanzó un 5%, mientras que en el resto de condiciones este déficit fue del 10% (Tabla IV.25). El GE mostró valores de *longitud de zancada* mayores que el GS de hasta un 8% más en la

condición motora; sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas ($p>0,05$).

Tabla IV.25: Desempeño realizado por los pacientes en las variables que no se evalúa el factor hemicuerpo durante la medida postrehabilitación

		Experimental	Control
Velocidad	Basal	3,36	-16,80*
	Visual	0,00	-11,71*
	Verbal	1,92	-15,38*
	Auditiva	5,77	-12,50*
	Motora	7,54*	-12,26*
Longitud de zancada	Basal	4,91	-10,65*
	Visual	5,21	-5,21
	Verbal	2,65	-10,62*
	Auditiva	4,42	-8,85*
	Motora	8,03	-8,03*
Tiempo de zancada	Basal	1	7*
	Visual	7	8
	Verbal	1,87	5,60
	Auditiva	0	3,73
	Motora	0,96	3,84
Cadencia	Basal	-1,29	-6,19*
	Visual	-2,37	-3,91
	Verbal	-1,63	-5,06
	Auditiva	0,25	-3,51
	Motora	-0,34	-3,39
Tiempo de apoyo bipodal	Basal	-1,79	-15,72*
	Visual	-5,38	-10,77*
	Verbal	-3,26	-16,46
	Auditiva	1,78	-12,13*
	Motora	4,46	-10,00*

*Se muestra el desempeño de los pacientes a través de un porcentaje de referencia (%) para las variables durante la medida postrehabilitación. Los % en negativo representan la magnitud de un desempeño inferior, mientras que los % positivos representan la magnitud de un desempeño superior por parte de los pacientes con respecto al desempeño de los sujetos sanos. *Señala diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) con el grupo de personas sin patología.*

Duración de zancada

En la variable *duración de zancada* no se observó un efecto estadísticamente significativo de la interacción CONDICIONES * GRUPO o de la variable independiente GRUPO.

A diferencia de lo que ocurre con la *longitud de paso*, se observó que el GC, solamente en la condición basal, realizó un tiempo de zancada significativamente mayor que el GS (Tabla IV.25). No se observaron diferencias estadísticas entre GS y GE. En general, los valores de *duración de zancada* en todos los grupos son similares entre ellos. De manera descriptiva, se pudo observar nuevamente, que el mayor tiempo de zancada se realizó en la condición verbal para todos los sujetos ($p>0,05$).

Cadencia

Sobre esta variable solamente se encontró un efecto por parte del factor principal GRUPO ($F_{(2,80)}=2,10$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,50$), pero no de la interacción GRUPO * CONDICIONES ($p>0,05$). La única diferencia significativa entre grupos se observó en la condición basal entre el GC y GS, donde los pacientes controles realizaron una cantidad de pasos significativamente menor ($p<0,05$), al igual como ocurre en la variable anteriormente descrita (Tabla IV.25).

Tiempo de apoyo bipodal

El factor principal GRUPO tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de *apoyo bipodal* ($F_{(2,80)}=13,50$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,25$), pero no su interacción con el factor CONDICIONES ($p>0,05$), lo que significa que las diferencias entre grupos son similares en las distintas condiciones de marcha evaluadas. Estas diferencias (Tabla IV.25) se observan entre el GC y GS en todas las condiciones, excepto en la marcha con una tarea verbal, donde el *tiempo de apoyo bipodal* es similar para los tres grupos de estudio. Para el resto de medidas, el GC realizó un mayor tiempo de apoyo bipodal que el grupo de personas sin patología ($p<0,05$). Como en el resto de variables analizadas en este apartado, no existieron diferencias significativas entre el GE y GS.

Longitud de paso

Sobre la *longitud de paso* registrado en la evaluación postrehabilitación, se observó un efecto principal del factor GRUPO ($F_{(2,80)}=8,31$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,17$) y de su interacción con el factor HEMICUERPO ($F_{(2,80)}=6,20$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,13$), pero no de la interacción con el

factor CONDICIONES ($p>0,05$). En términos generales, los valores de *longitud de paso* del GE son similares o mayores que los del GS, observando solamente en la condición basal, un paso con el hemicuerpo B del GE significativamente mayor que el GS. Por el contrario, el GC realizó pasos significativamente menores que el GS, en las condiciones basal, verbal y motora con el hemicuerpo A y también en las condiciones verbal y motora con el hemicuerpo B (Tabla IV.26).

Movimiento de la articulación de tobillo en el plano sagital

Solamente tuvo un efecto estadísticamente significativo el factor principal GRUPO sobre el *rango de tobillo* ($F_{(2;80)}=3,23; p<0,05; \eta^2_p=0,07$) y la interacción CONDICIONES * GRUPO para la variable *dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación* ($F_{(7; 280,23)}=3,74; p<0,01; \eta^2_p=0,08$). Esto significa que las variaciones de este ángulo cuando el pie oscila son diferentes entre las distintas condiciones de marcha evaluadas y, además, esas variaciones cambian para cada grupo.

Si se analizan las diferencias entre los pares de medidas, se observó que el GC realizó un *rango de tobillo* un 14% menor ($p<0,05$) con el hemicuerpo B en la condición auditiva, que el realizado por el grupo de personas sanas (Tabla IV.26). En la variable *dorsiflexión máxima en fase de oscilación*, no se observaron diferencias entre grupos.

Flexión máxima de la articulación de rodilla en fase de oscilación

El efecto de la interacción de los factores CONDICIONES * HEMICUERPO * GRUPO fue estadísticamente significativo sobre la *flexión máxima de rodilla en fase de oscilación* ($F_{(5,92;236,79)}=2,79; p\leq 0,01; \eta^2_p=0,07$), al igual que el factor GRUPO de manera independiente ($F_{(2;80)}=5,77; p<0,01; \eta^2_p=0,17$). A diferencia de lo que ocurre con el movimiento articular del tobillo, el GC realizó un ángulo de flexión significativamente inferior que el GS sanas en todas las condiciones con el hemicuerpo A ($p<0,05$).

Asimismo, el GE mostró un ángulo significativamente inferior en la condición verbal con el mismo hemicuerpo. Como se ha observado en variables anteriores, es en la TD verbal

en la cual los participantes con EP realizan un desempeño más bajo que el GS,, específicamente -7% y -11% en GE y GC, respectivamente (Tabla IV.26).

Tabla IV.26: Desempeño realizado por los pacientes en las variables registradas para ambos hemisferios durante la medida postrehabilitación

		Experimental		Control	
		Lado A	Lado B	Lado A	Lado B
Longitud de paso	Basal	3,27	13,33*	-11,47*	-6,66*
	Visual	0	3,33	-6,89	-6,66
	Verbal	1,78	8,92	-8,92*	-7,14*
	Auditiva	-5	7,14	-13,33	-5,35
	Motora	8,92	12,72	-8,92*	-3,63
Rango de tobillo	Basal	6,03	-0,14	-13,06	-11,63
	Visual	5,15	-2,69	0,85	-10,85
	Verbal	-4,38	-0,50	-12,22	-14,64
	Auditiva	-7,25	-5,12	-11,79	-14,76*
	Motora	4,33	0,55	-12,80	-14,16
Dorsiflexión máxima de tobillo	Basal	-7,44	-23,14	-9,07	9,60
	Visual	-4,50	2,68	0,37	39,02
	Verbal	-28,41	-34,38	-4,48	14,34
	Auditiva	10,66	3,7	1,52	13,52
	Motora	-17,05	-25,58	9,57	11,84
Flexión máxima de rodilla	Basal	-2,00	-8,31*	-10,40*	-8,39*
	Visual	-4,86	-6,56	-7,96*	-9,53*
	Verbal	-7,84*	-7,49	-11,47*	-9,23*
	Auditiva	-6,45	-5,28	-8,59*	-7,25
	Motora	-8,97	-3,52	-11,10*	-8,26
Extensión máxima de cadera	Basal	19,48	42,26	5,39	31,17
	Visual	13,56	7,71	-5,36	-3,29
	Verbal	9,25	17,13	-6,52	10,99
	Auditiva	9,88	26,36	3,82	15,23
	Motora	30,41	23,58	5,73	20,13
Flexión máxima de cadera	Basal	-5,84	-6,85	-13,47	-14,18
	Visual	-4,97	-5,55	0,13	-4,58
	Verbal	-11,05	-8,87	-11,73	-9,79
	Auditiva	-6,85	-5,97	-6,46	-5,77
	Motora	-5,56	-3,74	-9,66	-11,45

Se muestra el desempeño de los pacientes a través de un porcentaje de referencia (%) para las variables medidas postrehabilitación. Los % en negativo representan un desempeño inferior, mientras que los % positivos representa un desempeño superior de los pacientes con respecto a los sujetos sanos. *Señala diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) con el grupo de personas sin patología.

Con el lado del cuerpo menos afecto por los signos de la enfermedad, el GC volvió a realizar un desempeño significativamente inferior que el grupo sin patología en las condiciones basal, visual y verbal; mientras que el GE solamente realizó un ángulo de flexión significativamente inferior que el grupo de personas sanas en la condición de marcha sin tareas secundarias ($p < 0,05$), a diferencia de lo observado en la evaluación prerrehabilitación donde todos los pacientes tuvieron un ángulo de *flexión de rodilla* inferior en todas las condiciones con ambos hemicuerpos.

Movimiento de la articulación de cadera en el plano sagital

En la variable de *extensión máxima durante el apoyo*, no se observó efecto por parte de las interacciones de los factores, ni por parte del factor GRUPO de manera independiente ($p > 0,05$). Sin embargo, en la variable de *flexión máxima durante la oscilación*, solamente la interacción CONDICIONES * GRUPO tuvo un efecto estadísticamente significativo ($F_{(7,29;291,80)} = 3,25$; $p < 0,01$; $\eta^2_p = 0,08$). En la Tabla IV.26 se muestra que, tras la intervención, los valores de los grupos de pacientes fueron similares a los del grupo de sujetos sanos ($p > 0,05$).

IV.6 Análisis de la marcha entre personas sanas y con enfermedad de Parkinson tras ocho semanas de finalizada la rehabilitación física

En este apartado se presentan los resultados derivados del análisis que compara el desempeño de la marcha de las personas con enfermedad de Parkinson de los grupos experimental y control, con el grupo de personas sanas de la misma edad. Este análisis se ha realizado con las medidas de los grupos experimental y control registradas en la evaluación 8 semanas después de finalizar el periodo de rehabilitación. En primer lugar, se presenta el análisis multivariante para, posteriormente, detallar el efecto de los factores y su interacción sobre cada una de las variables por separado. Para facilitar la comprensión de los resultados, en el Anexo VI se muestran todas las comparaciones por pares de medida en tablas resumen.

IV.6.1 Análisis Multivariante de Varianza

El análisis multivariante en el que se estudió el efecto de los factores CONDICIONES y GRUPO sobre las variables *velocidad*, *longitud de zancada*, *duración de zancada*, *cadencia* y *tiempo de apoyo bipodal*, registradas en la evaluación de seguimiento, mostró una interacción de los factores que no fue estadísticamente significativa ($p>0,05$), al igual que en la comparación postrehabilitación.

Para las variables *longitud de paso*, *rango de tobillo*, *dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación*, *flexión máxima de rodilla en fase de oscilación*, *extensión máxima de cadera en fase de apoyo* y *flexión máxima de cadera en fase de oscilación*, registradas en la evaluación seguimiento y en las que se recogían los datos para cada extremidad, se realizó un análisis de multivarianza con los mismos factores (i.e. CONDICIONES y GRUPO) y además se añadió el factor HEMICUERPO. Este análisis mostró que la interacción de los factores no fue estadísticamente significativa ($p>0,05$), a diferencia de lo observado en la evaluación postrehabilitación.

IV.6.2 Análisis Univariado

En primer lugar se detallan los resultados para las variables que cuentan con los factores CONDICIONES y GRUPO y luego para aquellas en las que, además, se analiza el efecto del HEMICUERPO. Solamente se muestra el efecto de las interacciones donde tiene participación el factor GRUPO, debido a que los efectos y contrastes entre condiciones y hemicuerpos, para todos los participantes de la muestra, ya se han descrito en apartados anteriores. Igualmente, únicamente se describe la diferencia de los grupos de pacientes con respecto al grupo de personas sin patología. Para facilitar la comprensión de esta comparativa, se incluye el desempeño de los pacientes en forma de porcentaje, con respecto al desempeño realizado por los participantes sanos.

Velocidad

La interacción principal CONDICIONES * GRUPO no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la *velocidad* de marcha evaluada 8 semanas después de finalizado el

periodo de intervención ($p>0,05$). Por el contrario, el efecto del factor GRUPO de forma aislada sí tuvo un efecto estadísticamente significativo ($F_{(2,80)}=7,48$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,24$). Al igual que en la medida postrehabilitación, la *velocidad* de marcha del grupo experimental fue similar a la realizada por el GS ($p>0,05$). Sin embargo, el GC volvió a mostrar una *velocidad* significativamente menor que el grupo de sujetos sanos en todas las condiciones de marcha ($p<0,05$) (Tabla IV.27). Este déficit exhibido por el GC alcanzó -13% en la condición basal, y -16% en la condición con una tarea auditiva.

Si bien en un comienzo la *velocidad* de los pacientes fue significativamente inferior a la *velocidad* de los sujetos sin patología en todas las condiciones, el GE logró alcanzar un desempeño similar a los sujetos sanos tras la rehabilitación tanto en la condición basal, como en las condiciones de marcha con tareas secundarias, por lo que no se observaron diferencias significativas entre ambos ($p>0,05$). Este aumento de la *velocidad* del GE se mantuvo en el tiempo en que no hubo intervención fisioterapéutica.

Longitud de zancada

En la medida de seguimiento, únicamente el factor GRUPO de manera aislada tuvo un efecto estadísticamente significativo ($F_{(2,80)}=7,48$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,16$), lo que quiere decir que los valores de *longitud de zancada* son similares entre condiciones pero diferentes entre grupos. A lo largo del estudio, el GE mostró un aumento de la *longitud de zancada* tras el programa de rehabilitación que se ha mantenido tras ocho semanas sin intervención fisioterapéutica (Tabla IV.27), lo que se observa porque no existen diferencias estadísticamente significativas entre este grupo y el GS ($p>0,05$). En cambio, el GC, no ha logrado incrementar el valor de *longitud de zancada* en las evaluaciones realizadas tras finalizar la rehabilitación control, ya que en ambos tiempos de medida, la longitud de este grupo fue significativamente inferior en todas las condiciones de marcha ($p<0,05$) comparada con el GS, excepto en la condición motora, donde solamente se observó un 4% menos de zancada que en el grupo sin patología (Tabla IV.27).

Tabla IV.27: Desempeño realizado por los pacientes en las variables que no se evalúa el factor hemicuerpo durante la medida seguimiento

		Experimental	Control
Velocidad	Basal	0,00	-13,44*
	Visual	0,90	-16,21*
	Verbal	1,92	-15,38*
	Auditiva	5,77	-15,38*
	Motora	6,60	-13,20*
Longitud de zancada	Basal	1,64	-7,37*
	Visual	4,34	-8,69*
	Verbal	0,88	-8,85*
	Auditiva	1,77	-9,73*
	Motora	4,46	-4,46
Tiempo de zancada	Basal	1	5
	Visual	5	12*
	Verbal	-0,93	6,54
	Auditiva	-4,67	6,54*
	Motora	-5,77	7,69
Cadencia	Basal	-1,20	-3,70
	Visual	-1,22	-6,64*
	Verbal	-2,86	-5,30
	Auditiva	3,32	-6,38*
	Motora	1,34	-5,63
Tiempo de apoyo bipodal	Basal	-0,30	-11,49*
	Visual	-3,66	-16,95*
	Verbal	-2,62	-10,74*
	Auditiva	-0,80	-14,62*
	Motora	3,93	-7,56*

Se muestra el desempeño de los pacientes a través de un porcentaje de referencia (%) para las variables registradas en la medida de seguimiento. Los % en negativo representan la un desempeño inferior, mientras que los % positivos representan un desempeño superior de los pacientes con respecto al desempeño de los sujetos sanos. *Señala diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) con el grupo de personas sin patología.

Duración de zancada

A diferencia de lo observado en la variable *longitud de zancada*, la interacción CONDICIONES * GRUPO sí tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la *duración de zancada* ($F_{(5,44;217,60)}=2,56$; $p < 0,05$; $\eta^2_p=0,06$), al igual que el factor GRUPO de manera aislada ($F_{(2;80)}= 4,97$; $p < 0,01$; $\eta^2_p=0,11$). A lo largo del estudio se observó que el *tiempo de*

zancada es similar entre los grupos. En un inicio, el grupo de pacientes solamente realizó un *tiempo de zancada* mayor que el GS en las condiciones verbal y motora. Tras la rehabilitación, el GE igualó los valores de los sujetos sanos lo que se mantuvo tras 8 semanas de haber acabado el programa de fisioterapia experimental ($p>0,05$). Por otra parte, el GC tras la rehabilitación solamente realizó un mayor *tiempo de zancada* en la condición basal, igualando en las condiciones de marcha con tareas secundarias al GS ($p<0,05$). Sin embargo, tras ocho semanas de haber acabado el programa de rehabilitación control, los participantes del GC realizaron un *tiempo de zancada* significativamente menor que el GS en las condiciones visual y auditiva ($p<0,05$), lo que se traduce en un déficit en el desempeño de un -12% y -7% respectivamente (Tabla IV.27).

Cadencia

En la medida de seguimiento, el número de pasos por minuto solamente cambió entre grupos sin importar las condiciones de marcha valoradas, lo que quedó demostrado porque se observó un efecto del factor GRUPO de forma aislada sobre la variable *cadencia* ($F_{(2,80)}=3,31$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,07$). Antes de la rehabilitación, los pacientes realizaron una menor cantidad de pasos que el GS en las condiciones verbal y auditiva ($p<0,05$). Esta diferencia fue superada por el GE, en las medidas postrehabilitación y seguimiento en todas las condiciones de marcha, debido a que no se observaron diferencias entre GE y GS ($p>0,05$). Por otra parte, el GC en la medida de seguimiento, realizó una cantidad de pasos significativamente inferior que los sujetos sanos en las condiciones auditiva y visual ($p<0,05$) (Tabla IV.27), al igual que en la variable *duración de zancada*.

Tiempo de doble apoyo

El efecto principal del factor GRUPO tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el *tiempo de apoyo bipodal* ($F_{(2,80)}= 10,87$; $p<0,01$; $\eta^2_p= 0,21$), sin embargo la interacción con el factor CONDICIONES, no ($p>0,05$). El *tiempo de doble apoyo* realizado por el GC fue significativamente mayor que el tiempo del GS, en todas las condiciones de marcha

valoradas ($p<0,05$), alcanzando un déficit de hasta un 16% en la condición visual (Tabla IV.27). En cambio, no se observaron diferencias estadísticas entre GE y GS ($p>0,05$).

Longitud de paso

Sobre la variable *longitud de paso* en la medida de seguimiento, solamente se observó un efecto estadísticamente significativo del factor GRUPO ($F_{(2;80)}= 7,21$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,15$), lo que indica que los valores de esta variable variaron entre grupos de manera significativa pero con un patrón similar entre condiciones y entre hemicuerpos. A diferencia de lo observado en las medidas prerrehabilitación y postrehabilitación, los valores de *longitud de paso* entre pacientes y sujetos sanos son similares. Para el GE en las dos evaluaciones tras el periodo de rehabilitación experimental no se observaron diferencias significativas con el GS ($p>0,05$), llegando a realizar en la condición visual un 10% más de *longitud de paso* con el lado A (Tabla IV.28). Por otra parte, el GC solamente realizó una *longitud de paso* significativamente inferior con el lado A en la condición verbal (al igual que lo observado en las comparaciones anteriores) y, con el lado B, en las condiciones visual, verbal y auditiva ($p<0,05$) de hasta un 11% menos.

Movimiento de la articulación de tobillo

A diferencia de lo observado en variables anteriores, la interacción de los factores GRUPO * CONDICIONES * HEMICUERPO tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el *rango de tobillo* ($F_{(7,25; 290,29)}=2,13$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,05$). Sin embargo sobre la variable *dorsiflexión máxima en fase de oscilación*, la interacción significativa fue GRUPO * CONDICIONES ($F_{(6,60; 264,08)}=2,11$; $p<0,05$; $\eta^2_p=0,04$). El efecto principal del factor GRUPO de manera aislada, solamente fue significativo sobre la *dorsiflexión máxima* ($F_{(2;80)}=3,05$; $p<0,05$; $\eta^2_p= 0,07$) y no sobre el *rango*. A pesar de esto, en las comparaciones entre grupos, la única diferencia observada fue entre el GC y el GS, donde estos últimos realizaron un *rango de tobillo* significativamente inferior con el hemicuerpo A en la condición motora ($p<0,05$) (Tabla IV.28). A lo largo del estudio, los valores del movimiento de tobillo son similares entre los grupos de estudio, aunque, al tratarse de movimientos con pocos grados de amplitud, pequeñas variaciones originaron grandes porcentajes de referencia.

Tabla IV.28: Desempeño realizado por los pacientes en las variables registradas para ambos hemisferios durante la medida de seguimiento

		Experimental		Control	
		Lado A	Lado B	Lado A	Lado B
Longitud de paso	Basal	1,63	5,00	-9,83*	-1,66
	Visual	10,34	0,00	-8,62	-11,66*
	Verbal	0,00	7,14	-7,14	-10,71*
	Auditiva	-5,00	3,57	-11,66	-8,92*
	Motora	3,57	9,09	-5,35	0,00
Rango de tobillo	Basal	-3,01	-1,64	-8,04	-8,63
	Visual	9,44	6,46	-1,28	-8,30
	Verbal	-2,82	1,01	-2,29	-11,61
	Auditiva	-0,20	0,96	-7,00	-14,25
	Motora	2,82	3,60	-14,81*	-9,59
Dorsiflexión máxima de tobillo	Basal	-37,02	-41,70	-23,59	-42,13
	Visual	-17,82	-12,68	-37,89	-38,78
	Verbal	-40,93	-37,76	-37,19	-44,30
	Auditiva	-28,95	-21,72	-33,90	-48,55
	Motora	-37,73	-32,34	-27,39	-41,45
Flexión máxima de rodilla	Basal	-6,59	-10,72*	-9,93*	-10,04*
	Visual	-6,65	-7,55	-12,57*	-10,08*
	Verbal	-5,87	-8,70	-12,40*	-9,74*
	Auditiva	-6,27	-8,14	-14,62*	-12,69*
	Motora	-8,93	-5,69	-12,15*	-9,28*
Extensión máxima de cadera	Basal	-0,19	24,48	-5,09	10,16
	Visual	2,52	9,56	3,04	-1,74
	Verbal	-7,46	7,43	3,47	4,84
	Auditiva	-2,23	13,68	6,26	1,44
	Motora	0,10	14,34	-1,73	-2,22
Flexión máxima de cadera	Basal	-8,52	-10,04	-6,95	-7,19
	Visual	-1,23	-4,51	-9,36	-7,21
	Verbal	-8,88	-9,63	-11,63	-9,04
	Auditiva	-3,62	-5,87	-6,88	-7,13
	Motora	-2,73	-3,04	-3,51	-3,24

Se muestra el desempeño de los pacientes a través de un porcentaje de referencia (%) para las variables durante la medida de seguimiento. Los % en negativo representan la magnitud de un desempeño inferior, mientras que los % positivos representan la magnitud de un desempeño superior por parte de los pacientes, con respecto al desempeño de los sujetos sanos. *Señala diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) con el grupo de personas sin patología.

Flexión máxima de la articulación rodilla

Sobre la variable *flexión de rodilla* solamente tuvo un efecto estadísticamente significativo el factor GRUPO ($F_{(2,80)}=7,00$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,15$). De forma similar a lo observado en la medida postrehabilitación, el GC realizó una flexión significativamente inferior que el GS en todas las condiciones valoradas con ambos hemicuerpos ($p<0,05$), con un porcentaje de referencia de hasta -14% (Tabla IV.28). Por otra parte, el GE mostró un ángulo de flexión inferior de hasta -10%, que implicó que se observara una diferencia estadística entre GE y GS solamente en la condición basal con el hemicuerpo B ($p<0,05$).

Movimiento de la articulación de cadera

Sobre la variable *extensión de cadera* no existió efecto estadísticamente significativo de ninguna de las interacciones de los factores condiciones, grupo y hemicuerpos, ni de estos de manera aislada ($p>0,05$). Por otra parte, la interacción GRUPO * CONDICIONES logró un efecto significativo sobre la *flexión máxima en fase de oscilación* ($F_{(5,27; 210,83)}=3,13$; $p<0,01$; $\eta^2_p=0,07$). De forma similar a lo observado en la medida postrehabilitación, en ninguna de las dos variables que representan el movimiento de cadera, se evidenciaron diferencias significativas entre grupos en los registros tras ocho semanas de haber finalizado el programa de rehabilitación ($p>0,05$) (Tabla IV.28), lo que significa de que los valores entre los sujetos fueron similares en el movimiento de extensión y flexión de cadera. Sin embargo, de modo descriptivo se observó que el desempeño en el *ángulo de flexión máxima* alcanzado por los pacientes fue inferior en todas las condiciones con ambos hemicuerpos, en hasta -11% en comparación con el desempeño del grupo de sujetos sanos (Tabla IV.28).

Capítulo V. DISCUSIÓN

Este trabajo constituye la primera investigación en presentar los resultados de un programa de entrenamiento con tareas duales (TD) sobre el desempeño de la marcha en pacientes con EP contrastándolos con un grupo control que sigue un programa de fisioterapia habitual para este grupo de pacientes. Los programas de rehabilitación física basados en el entrenamiento con tareas duales son una modalidad de tratamiento relativamente nueva, la cual ha sido probada en escasos trabajos científicos (79–83,85,119,120). En esta investigación se ha diseñado un programa de terapia física de marcha con tareas duales cognitivas y motoras con el objetivo de mejorar la marcha de las personas con EP en condiciones de marcha normal y cuando esta es simultánea con otras tareas típicas de las AVD. El procedimiento metodológico y los resultados encontrados se discuten y justifican en este apartado y se contrastan con los procedimientos y hallazgos de otros autores.

V.1 Consideraciones metodológicas

Existe una gran variedad de diseños y metodologías en los diferentes estudios que analizaron la efectividad de la rehabilitación de marcha con tareas duales en pacientes con EP, por lo que es relevante analizar los procedimientos utilizados en los trabajos previos para realizar un planteamiento del estudio que mejore, en la medida de lo posible, lo llevado a cabo hasta el momento. Un primer aspecto a revisar es el diseño de los ensayos clínicos. Debido a que el protocolo de intervención con TD es nuevo en comparación con las pautas ya utilizadas en fisioterapia para el tratamiento de la EP, la inclusión de un grupo control que realizara terapia física sin TD era fundamental para la correcta evaluación e interpretación del efecto de la intervención experimental (121). Sin embargo, de las nueve investigaciones revisadas solamente dos incluyeron un grupo control que realizaba una terapia con ejercicios generales o en condiciones de TS (67,79). En el resto de investigaciones que también contaban con un grupo control (76,80,81) no se realizó ningún tipo de terapia física, por lo que no era posible concluir si los efectos del tratamiento con tareas duales era superior a los programas de fisioterapia con ejercicios generales y habituales en la práctica clínica que no incluyen

tareas duales durante la marcha. En los estudios restantes (38,83,120,122) solamente se incluye un grupo experimental, por lo cual, no es posible interpretar si los efectos alcanzados se deban a la intervención realizada o a otros efectos derivados del azar. Para comprobar si la terapia con tareas duales tiene mejores resultados sobre la marcha, cuando esta se realiza con tareas añadidas, que la terapia física en condiciones de TS, en nuestro estudio se incluyó un grupo de pacientes que realizó un programa de rehabilitación física habitual para tratar las alteraciones de marcha en la EP (descrito en el capítulo III.6), evitando la carga cognitiva/motora de realizar doubles tareas. Adicionalmente, en este trabajo se incluyó la valoración de un grupo control de sujetos sanos emparejados en género y edad con los participantes con EP. El objetivo de comparar el estado físico de los pacientes con controles sanos ha sido el de analizar las diferencias entre las deficiencias debidas a la enfermedad y las debidas a la edad. Esto adquiere especial relevancia en enfermedades con prevalencia casi exclusiva en la población adulta mayor, como es el caso de la enfermedad de Parkinson. Por tanto, este estudio es el único trabajo que, hasta la fecha, ha incluido un grupo control de pacientes que realiza un tratamiento de fisioterapia con ejercicios generales y un grupo de personas sanas.

Otro aspecto a considerar tras la revisión bibliográfica realizada fue la variedad en el tamaño de las muestras de participantes, factor que influye directamente en la potencia estadística del estudio y, por lo tanto, en la extrapolación de resultados a la población con EP. En nuestro estudio se realizó un cálculo estimativo del tamaño muestral necesario para evidenciar cambios en la variable principal *velocidad* (67), medida en condición de TS. Solamente tres estudios de la revisión realizada superaron el número de participantes incluidos en esta investigación (67,76,79). Todos los demás estudiaron a una muestra menor y no informaron si previamente habían calculado el tamaño de la muestra necesaria.

Con relación a los instrumentos de evaluación utilizados para medir la marcha humana, todos los estudios previos que han analizado el efecto de un tratamiento con tareas duales utilizan la misma metodología, la cual consistió en una alfombra de marcha

instrumentada con sensores de presión cuya dispersión permite únicamente medir parámetros espacio temporales. Si bien en el gesto motor de marcha se pueden medir variables de distinta naturaleza como movimiento angular, fuerzas de reacción y actividad electromiográfica, el hecho de que los estudios anteriores midieran únicamente variables espaciotemporales puede deberse a varios factores: 1) que las variables como *velocidad*, *longitud de paso* y *cadencia* son las más referenciadas en la literatura relacionada a las alteraciones de la marcha en la EP; 2) que las variables espacio temporales muestran un cambio de mayor magnitud, y por tanto, más evidente, tras una intervención de terapia física, que las variables cinemáticas, tal y como se ha observado en los resultados de este estudio; 3) que los procedimientos realizados en la valoración de marcha con una alfombra instrumentada conlleve una complejidad mínima para el investigador y para el sujeto valorado, si se compara con otros métodos de valoración biomecánica que requieren instrumentación.

A diferencia de las herramientas de valoración empleadas en los estudios revisados, en esta investigación se utilizó un equipo de fotogrametría para medir movimiento en tres dimensiones combinado con dos plataformas dinamométricas. Si bien esto requiere mucho más tiempo durante la valoración y tiene un procedimiento más complejo de utilización, permite la obtención de ángulos articulares además de todas las variables espacio-temporales que caracterizan a la marcha humana, permitiendo extraer más información sobre el gesto a analizar. Junto a esto, cabe mencionar que la fotogrametría es considerada la tecnología más precisa para la evaluación cinemática de las articulaciones (123) y representa el estándar en el análisis clínico de marcha en diferentes tipos de poblaciones (124).

Otro aspecto importante a discutir sobre la metodología empleada en los estudios anteriores, son las condiciones bajo las cuales se ha valorado la marcha. Si bien todos los autores registraron dos condiciones de marcha (tarea simple y tarea dual), el tipo de tarea cognitiva secundaria más utilizada durante la evaluación fue verbal y de cálculo matemático (67,79-83,120) y, en algunos casos, se emplearon instrumentos adicionales que permitían el registro y valoración del desempeño de la tarea cognitiva. La elección

de este tipo de tareas se debe a que ambas tienen una gran interferencia en la marcha, con lo cual es fácilmente detectable el cambio provocado por la tarea secundaria en las variables biomecánicas. Sin embargo, consideramos que tareas con excesiva complejidad de ejecución o gran carga cognitiva no representan las actividades que se desarrollan habitualmente en la vida diaria mientras caminamos y, además, son poco probables en las situaciones cotidianas de las personas mayores. Es por esto que en nuestro trabajo se planteó adecuar la evaluación y la rehabilitación a contextos habituales y se utilizaron tareas secundarias que imitaran AVD, permitiendo así evaluar y rehabilitar la marcha en un contexto funcional real. Para esto, nos basamos en la metodología de evaluación seguida por Brauer y Morris (120), en cuyo estudio se utilizaron 6 tareas secundarias (2 motoras y 4 cognitivas) para evaluar la marcha en condición de TD. Como resultado incluimos las tareas cognitivas secundarias de realizar un relato de las actividades del día anterior (verbal), reconocer una serie de sonidos propios del ambiente cotidiano (auditiva) e identificar las horas señaladas en un reloj analógico (visual). Como tarea motora secundaria optamos por combinar dos de las más referenciadas en los estudios (transportar y trasladar de mano a mano un objeto) y que también son representativas de las AVD. Aunque solamente en uno de los estudios previos se utiliza una tarea de tipo visual, creemos que es fundamental evaluar la marcha con este tipo de interferencia debido a que el sistema visual es el componente del control del equilibrio en que las personas mayores más se basan para mantener la postura y la alteración de la retroalimentación que aporta la información visual produce un retraso en los ajustes posturales en sujetos sanos (125). Además, se ha estudiado en personas con EP que las alteraciones visuales son un síntoma no motor de aparición temprana en la enfermedad, lo que puede inducir a trastornos del equilibrio en los primeros estadios además de ayudar al diagnóstico precoz (126). Por otra parte, la tarea secundaria auditiva se incluyó a modo de imitar una actividad tan habitual como caminar por la calle escuchando una serie de distractores auditivos. En un principio, se consideró realizar como tarea secundaria auditiva escuchar el mensaje de una tercera persona imitando la actividad de caminar acompañado teniendo una conversación. Decidimos incluir sonidos en lugar de lo anterior, con el motivo de quitar el componente

adicional de interpretar información o ideas complejas de un relato verbal. Nuestra tarea auditiva se asemeja a una de las tareas secundarias utilizadas en el estudio de Strouwen et al. (67), en la cual el paciente debía discriminar sonidos entre tonos altos y bajos. Si bien la tarea del estudio mencionado no tiene una carga cognitiva exigente, no es una cuestión propia de la vida diaria.

En relación con diseño del protocolo de intervención de esta investigación, se plantearon los aspectos que a continuación comentamos. En un ejercicio de marcha desarrollado en condición de TD existen tres componentes esenciales: el tipo de ejercicio de marcha a desarrollar, la tarea secundaria a añadir durante el programa terapéutico y la forma en que se desarrollan ambos componentes a la vez. Con relación al ejercicio de marcha, la mayoría de estudios se centraron en trabajar la *velocidad* y la *longitud de paso* únicamente, mientras que en este estudio se incluyeron, además, ejercicios relacionados con la corrección de la postura, mejora del movimiento articular, entrenamiento de la coordinación, equilibrio, marcha con múltiples variantes (giros, varias direcciones, tándem y utilizando diferentes superficies), reeducación de los hitos de la marcha y entrenamiento inespecífico de la fuerza de la musculatura de miembros inferiores. Solamente Strouwen *et al.* y Conradsson et al. incluyen objetivos en la rehabilitación similares a los utilizados en este estudio (67,76). En cuanto a las tareas secundarias del entrenamiento, algunos de los autores utilizaron las mismas tareas que en la evaluación (80–82), lo que impide observar si ha habido un efecto de transferencia del aprendizaje con un tipo de tareas a otras, hecho que ha sido descrito previamente en personas con EP (127). Para corregir esto, en nuestro programa de intervención las tareas secundarias de la evaluación fueron diferentes a las tareas utilizadas en la rehabilitación, aun cuando se trataban de tareas con requerimiento de la misma función o sistema. Por ejemplo, nuestra tarea visual de la evaluación involucraba reconocer las horas de un reloj analógico proyectado en la pared durante la marcha en un pasillo de 10 metros. Mientras que, las tareas visuales utilizadas en las sesiones de rehabilitación, implicaban ejercicios como reconocer el orden de figuras o encontrar elementos de diferentes colores en una imagen. Con esto conseguíamos entrenar un tipo de sistema

altamente utilizado en la vida diaria y durante el desarrollo de TD y, al mismo tiempo, poder observar si existía transferencia del aprendizaje durante la evaluación de marcha con tareas no entrenadas. Por último, en relación con el procedimiento de cómo desarrollar ambos componentes de la TD, los autores previos solamente hicieron referencia a la incorporación progresiva de la tarea secundaria y la alternancia de la atención del sujeto en una de las dos tareas, sin dar más especificaciones sobre cómo desarrollar ambas tareas al mismo tiempo. En nuestro trabajo, para establecer una metodología clara y estructurada sobre el ejercicio dual, desarrollamos niveles de complejidad de una misma tarea secundaria para así establecer una incorporación progresiva estandarizada. Por ejemplo, si la tarea a entrenar era de tipo verbal, en una primera instancia el objetivo de esta era mencionar palabras aleatorias sobre un tema en común como ciudades o colores. Posteriormente se incrementaba la dificultad a través de respuestas complejas a una pregunta en concreto en la que los pacientes debían verbalizar una idea estructurada. Estos niveles de progresión fueron combinados con la alternancia de atención por parte del paciente entre la tarea primaria y la secundaria de una forma guiada por el fisioterapeuta.

El último punto que consideramos necesario discutir en la metodología de esta investigación guarda relación al lugar o espacio en que se llevó a cabo la terapia experimental, ya que dos de los estudios realizaron la intervención en el domicilio del paciente con supervisión de un fisioterapeuta de manera esporádica (79,119). Debido a que actualmente la investigación en los protocolos de rehabilitación de marcha con tareas duales se centra en probar su efectividad frente a programas de ejercicio generales o en condición de TS, creemos que la rehabilitación debe ser en un espacio con supervisión permanente y acondicionado para este fin, por varias razones. La primera de ellas es que la retroalimentación constante es un principio del aprendizaje motor (127), por lo que se vuelve necesario la presencia de un fisioterapeuta en un tipo de ejercicio tan complejo como la TD. Por otra parte, los pacientes con EP tienen un alto riesgo de caída por las alteraciones de la marcha y el equilibrio que sufren, por lo que, en una fase inicial, la ausencia de supervisión puede implicar más riesgos de caídas. Por

último, el desarrollo de la terapia física en un centro especializado (como un gimnasio de rehabilitación) permite realizar un entrenamiento grupal, lo que aporta una serie de beneficios adicionales a la terapia con personas mayores, como la mejora de las funciones cognitivas como memoria, la mejora de la percepción de bienestar (128), una mayor iniciativa creando una buena disposición al ejercicio, etcétera; cuestiones que no se aprecian en el entrenamiento individual dentro del hogar del propio paciente. Es por todo esto que las sesiones de nuestra intervención se llevaron a cabo en las dependencias de un centro de rehabilitación específico para pacientes con EP y en grupos pequeños.

V.2 Efecto del entrenamiento en la marcha como tarea simple

El efecto de la intervención experimental planteada en esta investigación, así como el mantenimiento del mismo tras un plazo medio (ocho semanas), se analizó para la marcha con y sin tareas secundarias. La mejoría de la marcha como TS (condición *basal* de esta investigación) se ha evidenciado en el grupo experimental de manera significativa en todas las variables biomecánicas analizadas a excepción de la *dorsiflexión de tobillo durante la fase de oscilación*. El tamaño de este efecto varió entre las variables registradas y no todas las mejorías se mantuvieron tras ocho semanas después de haber acabado el programa de rehabilitación. Por otra parte, en las variables donde se podía aplicar el factor *hemicuerpo (valoración de las extremidades por separado)*, no siempre se observó una evolución con ambos lados, tal y como se explicará más adelante.

En relación con los cambios de mayor trascendencia de las variables espacio-temporales, las personas del GE caminaron más rápido, con mejor *longitud de paso* (bilateral) y *zancada*, con menor *tiempo de doble apoyo* y con una *cadencia* más alta tras el tratamiento (Tablas IV.10-15). Estos cambios estadísticamente significativos se mantuvieron en el periodo de seguimiento tras ocho semanas, lo que significa que los efectos del entrenamiento con tareas duales sobre la marcha volitiva se mantienen a medio plazo incluso después de un periodo relativamente largo sin entrenamiento.

En el caso de la *velocidad* de marcha en TS, pudimos observar una mejoría del 0,26 m/s en el GE con un gran tamaño del efecto ($r=0,67$). Además, el cambio observado, superó el mínimo cambio clínico significativo referenciado en la literatura en pacientes con EP durante la marcha en TS (129), el cual ha sido establecido sobre 0,1 m/s. Igual que en el resto de investigaciones analizadas en el capítulo I, el aumento de la *velocidad* de marcha fue el parámetro en el que se observó un cambio de mayor magnitud, en comparación con el resto de variables. En el resto de estudios, el aumento de la *velocidad* durante la marcha en TS fluctuó entre 0,09 y 0,17 m/s (76,80–83,120), siendo estadísticamente significativo en todos los trabajos a excepción de uno (82) y, ligeramente más discreto que lo evidenciado por nuestra investigación. El aumento de la *velocidad* en TS se puede explicar gracias al aumento significativo de la *longitud de zancada* (0,19 m; $r=0,41$) y de la *cadencia* (8 pasos/min; $r=0,47$); además de la subsecuente mejora significativa de la *longitud de paso*, cuyo incremento fue de 0,09 m ($r=0,25$) y 0,13 m ($r=0,35$) para el lado más afecto y menos afecto, respectivamente. Aunque esto constituya un hecho lógico en la marcha no patológica, la EP se caracteriza por una marcha en donde los pasos son cortos y los pacientes realizan una *cadencia* alta, lo que, sumado a las alteraciones posturales de los parkinsonianos, propicia un alto riesgo de caída. El hecho de que los pacientes del GE hayan logrado modificar la *longitud de zancada* implica que fueron capaces de corregir, con el entrenamiento, una característica relevante de la enfermedad y que, por tanto, lograron caminar de una forma más segura. Los valores de mejoría de las variables analizadas en nuestro trabajo, superan ligeramente los valores referenciados en el resto de estudios que analizan los efectos del entrenamiento con tareas duales (76,80,81,83,85,120). Estos varían entre 0,06 m y 0,18 m para la *zancada* y entre 0,04 y 0,07 m para la *longitud de paso*. Esta diferencia con respecto a nuestro trabajo pudo deberse a que empleamos distancias concretas durante todas las sesiones, permitiendo una retroalimentación precisa de los ejercicios en los que se involucraba la *longitud de paso*. Esto también influye directamente en que hayamos observado una magnitud mayor en el cambio de *velocidad* de marcha en TS, con respecto al resto de autores.

Como se ha comentado en apartados anteriores, la *velocidad* de marcha está estrechamente relacionada con el *tiempo de doble apoyo* y la *duración de zancada*, cuya mejoría implica la realización del ciclo de marcha en un tiempo menor. En nuestro estudio, se observó una reducción estadísticamente significativa de ambas variables (Tablas IV.12,14), aunque el tamaño del efecto fue moderado para el *tiempo de doble apoyo* ($r=0,51$) y pequeño para la *duración de zancada* ($r=0,33$). Aun así, los valores observados son similares a los referenciados por las dos investigaciones previas (83,120) que informan sobre estas variables. Esta evolución favorable se produce directamente por el aumento de la *velocidad* de marcha (27) e indica un mejor desempeño del equilibrio dinámico al caminar. Al reducir el tiempo en que se encuentran en una base de soporte amplia durante el ciclo de marcha, dejan más tiempo al apoyo monopodal, lo que implica que la generación de reacciones posturales que controlan la posición bípeda durante este periodo sea más exigente.

Como se ha referenciado en el capítulo I, la *velocidad* y la *longitud de zancada* son las variables alteradas que más se describen en la literatura relacionada con la marcha dual en la EP. Sin embargo, la *cadencia* permite ampliar la información cualitativa de la ejecución de marcha, ya que es esencial para analizar cómo se produce la adaptación que realizan las personas con EP a los cambios de *velocidad* al andar. Como se ha explicado anteriormente, si bien los pacientes con EP tienen dificultad para alargar el paso, conservan la capacidad para controlar la *cadencia* en los primeros estadios de la enfermedad y, a expensas de ésta, caminar más rápido (30,130).

En relación con esto, uno de los tres estudios que informaron acerca de la *cadencia* observaron una mejoría de número de pasos/min en condición de TS, tras la terapia con tareas duales (85), al igual como hemos observado en nuestro estudio. En concreto, hallamos un aumento de 8 pasos por minutos entre antes y después de la rehabilitación, cuyo tamaño de efecto fue moderado ($r=0,47$). Otros autores, por el contrario, no evidenciaron un cambio en la *cadencia* tras la intervención (76,84) lo que puede indicar que los pacientes de esos ensayos mejoraron la *velocidad* de marcha únicamente a expensas de la *longitud de zancada*. Consideramos que la mejora en ambos parámetros

(*zancada y cadencia*) potencia el aumento de la *velocidad* y permite que los pacientes cuenten con más estrategias a la hora de adaptar la marcha a las distintas situaciones de la vida diaria. Por el contrario, cuando la *velocidad* es mantenida solamente a expensas de la *cadencia* y no del aumento de la *longitud de los pasos*, se podría deducir que se trata de un mecanismo compensatorio alterado o anormal, característico de la EP.

Con relación al desempeño en las variables espacio-temporales del GC tras el tratamiento, estos no mostraron una mejoría significativa tras el programa de ejercicios generales, indicando que la terapia control impide el deterioro de la marcha esperable en una enfermedad neurodegenerativa, pero no logra mejorar las variables evaluadas. Debido a esto, observamos que en todas las medidas espacio-temporales, los sujetos del GE realizaron un desempeño significativamente mejor que el GC, tras la intervención. Tres de los estudios que realizaron estudios controlados también reportaron esta mejoría significativa de sus grupos experimentales por encima de los controles (76,80,81). Sin embargo, en estos estudios, el grupo control no realizaba ningún tipo de terapia. Si bien no esperábamos diferencias entre grupos tras el tratamiento, el peor desempeño del GC en la condición de TS puede explicarse porque el entrenamiento con altas demandas físicas/atencionales puede estar produciendo una mejora de mayor magnitud en el desempeño de la marcha que el provocado por la rehabilitación control, la que no incluía ningún tipo de tarea cognitiva. Nuestro GC, al estar sometido a una rutina de ejercicios físicos menos exigentes y sin ningún tipo de requerimiento cognitivo, podría tener un efecto de menor magnitud que los ejercicios del GE. Esto puede ocurrir porque la estimulación cognitiva no solo tiene un efecto en el propio desempeño cognitivo, sino también en movimientos complejos, en los que las funciones ejecutivas tienen un rol protagonista (81). De hecho, el estudio de Strouwen *et al.*, en el cual sí se incluyeron ejercicios cognitivos de manera aislada en su grupo control (*i.e.* sin realizar simultáneamente ejercicios físicos), mostró una mejoría significativa, igual que hacía su grupo experimental. Esto se produjo probablemente por el uso de las mismas tareas cognitivas del programa con tareas duales, pero en condiciones de tarea única o simple. Nuestros datos, analizados con la información publicada por Strouwen *et al.*

(119), apoyan la tesis de que los ejercicios con altas demandas cognitivas influyen directamente en el desempeño de la marcha, no solo en condición de TD, sino también en la condición TS. En nuestra investigación no optamos por incluir ejercicios cognitivos en la terapia control porque no es lo habitual en un programa de fisioterapia general para pacientes con EP. Este razonamiento plantea una nueva pregunta: ¿la mejora de la marcha como TS del GE se ve potenciada solamente por la inclusión de tareas cognitivas en la rehabilitación o por el formato de incluirlas en dobles tareas de entrenamiento? Esto podría ser objeto de estudio de futuras investigaciones.

En relación con los efectos de la rehabilitación con tareas duales en las variables cinemáticas, la evolución evidenciada fue variable. Se observaron cambios significativos en el *rango de movimiento de tobillo*, *flexión máxima de rodilla* y en el grado de *flexión y extensión máxima de cadera* durante la medida post; los cuales no se mantuvieron en el tiempo (Tablas IV.16-18). Por otra parte, en el grado de *dorsiflexión de tobillo máxima en fase de oscilación* no observamos ningún cambio significativo. Además, cuando se evidenció un cambio en las variables de movimiento articular, estos no fueron iguales en ambos hemicuerpos. El lado A (*i.e.* más afectado por los signos de la EP) mejoró en todas las variables mencionadas anteriormente, mientras que el lado B solamente mejoró en el grado de *extensión máxima de cadera* durante la fase de apoyo (Tabla IV.18). De todas las variables analizadas, el cambio con un tamaño de efecto más alto fue el *rango de tobillo* ($r=0,39$), aunque este fue moderado y la mejoría en grados fue de solamente 3,26°. Por otra parte, no se observaron cambios estadísticamente significativos en el GC. A pesar de esto, las diferencias entre grupos solamente se observaron en el *rango de tobillo* (post y seguimiento) y en el grado de *flexión máxima de rodilla* (seguimiento) con el hemicuerpo más afecto por la EP (Tabla IV.16,17).

El contraste de nuestros hallazgos con la bibliografía disponible es complejo. Ninguno de los autores que analizan los efectos de la rehabilitación con tareas duales ha medido variables relativas a movimientos articulares, por lo que no son directamente comparables. Nuestros hallazgos indican que, tras la rehabilitación dual, los pacientes con EP logran dos estrategias basadas en el rango articular para mejorar la marcha sin

tareas añadidas. La primera de ellas es la mejora de la *extensión de cadera* para acompañar una *longitud de paso* amplio (previamente descrito). La segunda estrategia es la elevación del pie durante la fase de oscilación, lo que en nuestros participantes se logró a expensas de la *flexión máxima de cadera* y la *flexión máxima de rodilla*, y no de la dorsiflexión del pie durante la fase de oscilación. Esto permite una marcha más segura, ya que contrarresta la característica de la marcha arrastrada parkinsoniana, en la que los pacientes no son capaces de realizar una fase de oscilación lo suficientemente eficaz para evitar arrastrar la punta del pie por el suelo. A pesar de no haber observado un cambio en el grado de *dorsiflexión de tobillo máximo durante la oscilación*, cabe reflexionar acerca del motivo por el cual sí se observó un cambio en el rango de movimiento de esta articulación. Esto pudo deberse al aumento de dorsiflexión pasiva que ocurre durante la fase de apoyo de la marcha previo a la fase de oscilación y que coincide con la *máxima extensión de cadera* durante el ciclo de marcha. De hecho, en estudios previos en los que se caracterizó la cinemática de la marcha en función de la severidad de la enfermedad, se evidenció que los pacientes en estadios tempranos muestran una *dorsiflexión de tobillo* más acentuada que pacientes en estadio avanzados, pero no en fase de oscilación, sino durante la fase de apoyo (131). Ello respalda nuestra teoría sobre el aumento del *rango de movimiento de tobillo* tras la rehabilitación experimental sin la mejoría de la dorsiflexión en la fase de oscilación.

El hecho de que no mejore la dorsiflexión en fase de oscilación puede explicarse, según ya se apunta en la evidencia científica, a que los pacientes con EP presentan una activación reducida del músculo tibial anterior al final de la fase de oscilación del ciclo de marcha (132), agonista en la *dorsiflexión de tobillo*. Esta información se debería tener en cuenta a la hora de planificar un programa de rehabilitación de marcha para pacientes con EP, considerando las limitaciones de la enfermedad que son difíciles de modificar con terapia física; además de la corrección postural del patrón flexor típico de la EP para poder realizar un rango de movimiento más amplio con las articulaciones proximales del miembro inferior, compensando así la *dorsiflexión de tobillo* poco eficiente.

V.3 Efecto del entrenamiento en la marcha como tarea dual

Al igual que en la bibliografía previa, en este trabajo se observaron efectos beneficiosos en el GE gracias al entrenamiento con tareas duales durante la marcha como TD. Estos efectos fueron evidenciados en todas las condiciones duales evaluadas (visual, verbal, auditiva y motora) y de forma contundente para las variables *velocidad*, *tiempo de doble apoyo*, *longitud de zancada* y *longitud de paso* (A y B), lo que se mantuvieron tras ocho semanas sin terapia.

La mejoría en las variables mencionadas anteriormente y generalizadas a todas las condiciones duales en el GE, indica que se ha producido un aprendizaje por parte de los pacientes con EP y que éstos han logrado una automatización de la marcha efectiva (76), lo que podría indicar una integración más eficiente de las vías relacionas con la ejecución de la marcha y las tareas secundarias. Este hecho es vital en una enfermedad de tipo neurodegenerativo como el Parkinson, debido a que señala la posibilidad de mejorar el control automático de la forma de caminar. A su vez, puede significar, por una parte, que el rendimiento del circuito de los núcleos de la base sobre el movimiento involuntario se puede modificar con la rehabilitación física dual o, por otra parte, que las estructuras nerviosas logran compensar el deterioro del control de los núcleos de la base, involucrando otras áreas cerebrales en la regulación del movimiento automático cuando los pacientes se someten a altas exigencias físico-cognitivos, *e.g.* el entrenamiento con TD o compuestas. De hecho, en un estudio de neuroimagen se ha evidenciado que en las personas con EP durante movimientos secuenciales de los dedos se produce una hiperactividad, más allá de la corteza motora suplementaria, específicamente en la corteza premotora lateral, sensoriomotora primaria, área motora suplementaria posterior, corteza parietal, cingulada anterior y en el cerebelo, a diferencia de lo que ocurre con sujetos controles sanos (133). No existen estudios con pacientes con EP que muestren este tipo de evidencia sobre la marcha en ambientes complejos, sin embargo, tras la marcha sobre *treadmill* también se ha evidenciado hiperactividad en la corteza premotora lateral, parietal posterior y cerebelo, a diferencia de lo registrado en controles sanos (134), lo que refuerza la hipótesis desarrollada

previamente. Es importante tener en cuenta que la evidencia científica, que demuestra una compensación de otras zonas de la corteza cerebral en los movimientos comentados anteriormente, ocurre durante el movimiento voluntario. En nuestros pacientes experimentales, la mejora de la marcha evidenciada ha sido con un control automático (además de voluntario evaluado en TS). Teniendo en cuenta que cuando los pacientes son diagnosticados han sufrido una degeneración del 80% de las neuronas dopaminérgicas de los núcleos basales, es muy probable que la teoría de la compensación de otras zonas sea la más adecuada, pero de estructuras como el cerebelo o el tronco encefálico, que son las involucradas en la regulación de movimientos automáticos. Esto abre un nuevo interrogante: ¿gracias a qué estructuras de control automático los pacientes con EP son capaces de mejorar la marcha en condiciones duales tras la rehabilitación dual? Una posible respuesta serían los centros locomotores del cerebelo y mesencéfalo (CLR, MLR, SLR), descritos en el capítulo I.

Aun cuando los efectos positivos de la terapia experimental se observaron en todas las condiciones, fue en la condición dual motora en la que estos fueron de mayor magnitud. En concreto, la *velocidad* mostró un aumento de 0,32 m/s ($r=0,64$), el *tiempo de doble apoyo* mostró una reducción del 5,8% ($r=0,46$) y el aumento de las *longitudes de zancada* y de *paso A y B* fue de 0,27 m ($r=0,28$) y 0,14 m ($r=0,28$), respectivamente (Tablas IV.10,11,14,15). A pesar de esta información, el tamaño del efecto encontrado en los cambios significativos de las variables entre antes y después de la rehabilitación experimental, es mayor en la condición auditiva. Por ejemplo, la variabilidad de los datos de *velocidad* tras la rehabilitación experimental en la condición auditiva, fue explicada en un 76% debido a la rehabilitación, en comparación con el 64% de la condición motora. No todos los autores informan este tipo de parámetros estadísticos, ni entregan los datos suficientes como para poder calcularlo. Solamente Strouwen *et al.* informaron acerca de un cambio de *velocidad* durante la marcha dual con un tamaño de efecto de $r=0,53$. Que en nuestro estudio este estadístico sea mayor que el del estudio mencionado, puede deberse a que los pacientes de dicha investigación presentaban

signos de FOG, en contraste con nuestros participantes, donde presentar signos de *congelamiento de la marcha* era criterio de exclusión.

Con respecto al GC, solamente se evidencian mejoras significativas en las variables espacio-temporales más importantes en la condición motora, cuyo máximo aumento alcanzado fue de 0,11 m/s en la *velocidad*, 2,32% de reducción en el *tiempo de doble apoyo*, 0,13 m en la *longitud de zancada* y 0,06 m y 0,07 m en la *longitud de paso A* y *B*, respectivamente. A pesar de esto, el desempeño del GC fue significativamente inferior que el GE tras la rehabilitación, lo que en la *velocidad* significó un desempeño de 0,20 m/s menos. La evolución significativa del GC, exclusivamente en la condición motora, puede explicarse porque la tarea secundaria con los miembros superiores fue una tarea rítmica repetitiva (traspasar semillas de un vaso a otro), similar al balanceo de los brazos durante la marcha. Es probable que esta tarea rítmica haya mejorado el desempeño de la marcha automática en lugar de empeorarla. Apoyando esta teoría existe evidencia de que el movimiento rítmico y repetitivo con los brazos ayudaría a marcar el ritmo durante la marcha, ayudando a la coordinación con los miembros inferiores y potenciaría la postura erguida mientras caminamos (135).

En diferentes enfermedades neurológicas, no mover los brazos durante la marcha es signo de bradicinesia y alteración al caminar, tal como ocurre al inicio de la EP (136). Es probable que los pacientes en estadio II y III de H&Y, al verse obligados a hacer una tarea rítmica con los brazos, hayan mejorado la disociación de las cinturas escapular y pélvica, promoviendo un mejor patrón de movimiento para caminar (137). Si a esto sumamos que el GC, durante su programa de rehabilitación, entrenó otros aspectos físicos además de la marcha, como la motricidad con los brazos y la coordinación, es muy probable que esto haya influido en el desempeño de la marcha con una tarea secundaria motora con las manos, tras el periodo de rehabilitación.

En relación con los hallazgos del resto de autores que analizan los efectos de la rehabilitación de marcha con tareas duales, informan en su mayoría resultados sobre *velocidad* y *longitud de zancada*. Estas investigaciones observaron una mejoría de la *velocidad* durante la marcha dual que variaba entre 0,03 y 0,37 m/s, lo que está dentro

de los valores observados en nuestro trabajo. Sin embargo, no en todos los estudios el aumento de la *velocidad* en condiciones duales supuso una mejoría estadísticamente significativa (76,79) o sobrepasó el cambio clínico mínimo significativo. En la literatura se han referenciado distintos valores para el mínimo cambio clínico significativo de la *velocidad* en condición de TD en personas con EP, que ha sido reportado desde 0,13 m/s hasta 0,22 m/s para las tareas duales motoras y desde 0,16 m/s hasta 0,19 m/s para tareas cognitivas (129,138). En nuestro trabajo, la *velocidad* del GE durante las tres tareas cognitivas (visual, verbal y auditiva) aumentó más de 0,20 m/s, sobrepasando los valores de referencia antes mencionados. En los estudios donde no se alcanzó un cambio significativo de la *velocidad* durante TD, pudo haber influido que el entrenamiento con tareas secundarias fue un componente adicional dentro de una serie de ejercicios de equilibrio (en el caso de Conradsson *et al.*) o al acotado tiempo de entrenamiento y falta de estandarización objetiva de los ejercicios (en el caso de Brauer *et al.*). Con respecto a los hallazgos de *longitud de zancada* y de *paso* en el resto de investigaciones que demostraron una mejoría significativa de estas variables tras la rehabilitación experimental, los valores variaron entre 0,04 m y 0,36 m para *zancada* (80,81,83,85) y entre 0,03 y 0,08 m en la *longitud de paso* (120), ligeramente inferior a lo que se ha informado en esta investigación, lo que puede deberse a las diferencias metodologías comentadas a lo largo de los apartados anteriores.

Si bien en nuestro estudio se ha demostrado que las variables *velocidad* de marcha, *tiempo de doble apoyo*, *longitud de zancada* y de *paso* mejoraron en todas las condiciones de marcha duales y que ese efecto se mantuvo en el tiempo, en el resto de variables temporo-espaciales (*i.e. duración de zancada* y *cadencia*) no se observaron mejorías significativas con todas las tareas secundarias y, en algunos casos, solamente en una de las mediciones tras acabar la rehabilitación. Aún así, es en la condición motora donde más se observaron cambios beneficiosos tras la terapia experimental. En concreto, se registraron efectos inmediatos y a medio plazo de las variables *duración de zancada* y *cadencia*, pero solamente en las condiciones auditiva y motora, siendo estos de mayor magnitud durante la tarea motora. Los cambios observados del GE en esta condición

fueron de 9 pasos/min para la *cadencia* y de 0,17s para el tiempo de zancada; coincidiendo con el desempeño superior de la *velocidad* durante la tarea con los brazos. De los estudios que evalúan estas dos variables, los cambios referenciados en la *cadencia* durante la marcha como TD fueron levemente inferiores a los observados en nuestra investigación (hasta 4 pasos/min) (76,84,85), mientras que la reducción de la *duración de zancada* es prácticamente igual de discreta (83). Por otra parte, el desempeño del GC en ambas variables no tuvo un cambio significativo tras la rehabilitación control.

Los efectos de la rehabilitación experimental son bastante claros en las variables espacio-temporales, sin embargo, la evolución significativa de las variables de movimiento articular tras ambos programas de rehabilitación, no fue observada en todas las condiciones, hemicuerpos y tiempos de medida. En primer lugar, para las variables *rango de movimiento de tobillo* y *grado de extensión máxima con la articulación de cadera*, ambos grupos mostraron una mejoría significativa tras la rehabilitación en la condición motora; sin embargo, esta mejoría se traducía en pocos grados de movimiento. Por ejemplo, en el *rango de movimiento de tobillo* se observó en el GE y, en ambos hemicuerpos, se observó una mejora de 4° más de movimiento en la medida post y seguimiento, comparadas con la medida preintervención; mientras que, el GC solamente mejoró con el lado B en la medida postrehabilitación, en 1,24° durante la misma condición. Por otra parte, la mejoría de la *extensión de cadera* para el GE fue de hasta 3,44° ($r=0,21$) en la condición motora con el lado A, mientras que, para el GC, en la misma condición fue de 2,86° con el lado B. A pesar de que el GE también evolucionó favorablemente en el resto de condiciones duales en las dos variables mencionadas anteriormente (Tabla IV.16,18), las diferencias significativas entre grupos solamente se observaron en la condición motora de la variable *rango movimiento del tobillo* (en ambas medidas después de la intervención), donde el GE solamente realizaron 3° más que el GC.

Si analizamos los efectos del entrenamiento en la variable *grado de flexión máxima de cadera*, las mejorías significativas fueron puntuales en la condición auditiva para el GE y en las condiciones visual y motora para el GC, específicamente con lado A únicamente.

En las dos variables que describen el máximo movimiento articular de cadera, no se observaron diferencias significativas entre grupos. Por otra parte, en el grado de *flexión máxima de rodilla* durante la fase de oscilación, solamente se observó una mejoría significativa del GE con el hemicuerpo A, en todas las condiciones duales cognitivas, alcanzando hasta 4,63° más de movimiento tras la rehabilitación ($r=0,19$). Esta mejoría exclusiva del GE ha sido suficiente para demostrar diferencias significativas con el GC tras la rehabilitación durante la condición motora.

Debido a que ninguna investigación previa analiza el rango de movimiento tras un programa de rehabilitación de marcha con tareas duales, la comparación con otros autores es limitada. Sin embargo, se han observado cambios similares a los observados en nuestro trabajo en el *rango de flexo-extensión de cadera*, en pacientes con EP tras la rehabilitación de marcha integrando estimulación rítmica auditiva (137).

Como hemos mencionado anteriormente, la condición motora destaca por encima del resto de condiciones duales debido a que en ella se observa un mejor desempeño tras la rehabilitación. Esto indica que, después de un periodo de entrenamiento, los pacientes realizan con mayor facilidad una tarea dual motora que cognitiva; revelando que existe una diferencia en la interferencia de las tareas secundarias según su naturaleza, lo cual se discute en detalle más adelante.

En este estudio, la evolución de las variables espacio-temporales tras el entrenamiento experimental es de una magnitud concluyente, no así de las variables cinemáticas, cuyo cambio es más discreto. Una posible teoría que podría explicar estas diferencias es que el control de ambas características de la marcha esté a cargo de diferentes estructuras. Anteriormente, en el capítulo de introducción, hemos descrito los centros locomotores que se encuentran en estructuras subcorticales, como el cerebelo, el mesencéfalo y la médula espinal. Las características de control que se les ha atribuido a estas estructuras son de carácter espacio-temporal (9), por lo que, probablemente, cambiar el patrón cinemático de la marcha, sea más efectivo y evidente bajo un control voluntario.

En relación con los efectos a medio plazo, anteriormente hemos apuntado que el mejor desempeño de la marcha en condición de TD se mantuvo tras ocho semanas sin terapia física en la *velocidad*, *tiempo de doble apoyo*, *longitud de paso* y de *zancada*. En trabajos anteriores, solamente cuatro autores informan sobre un mantenimiento de los efectos del entrenamiento (82,83,85,119) en condiciones duales de marcha tras un periodo en reposo sin ejercicio terapéutico, los cuales variaron entre 3 semanas y 12 semanas. En general, se ha demostrado ampliamente una retención de los efectos del ejercicio terapéutico en un mes; sin embargo, solamente un estudio informa acerca de la permanencia de esta mejoría más allá de dos meses (como en nuestro trabajo). Tanto en el trabajo de Strouwen *et al.* (119), como en el nuestro, demuestran un mantenimiento de los efectos de la terapia con tareas duales más allá de los 30 días. Las características que comparte el trabajo de Strouwen *et al.* con el presente estudio, las cuales pueden explicar el efecto a medio plazo evidenciado en ambas investigaciones (y que los diferencia del resto) son las siguientes: la práctica reiterada en el tiempo de los ejercicios de marcha (dos o más sesiones por semana), la utilización de señales externas objetivas que permitían a los pacientes obtener una retroalimentación cuantificada del ejercicio de marcha (por ejemplo la *longitud de paso*), la inclusión de varios aspectos de la marcha en el entrenamiento y, por último, una progresión estandarizada del ejercicio que permitía mantener las sesiones de rehabilitación con un alto nivel de exigencia. Estas características creemos que son las que han permitido el mantenimiento de los efectos del tratamiento por tanto tiempo en la marcha con tareas añadidas y, a su vez, son componentes claves del aprendizaje motor, como se ha mencionado en apartados anteriores.

V.4 Interferencia de las tareas secundarias en la marcha

Si bien hemos analizado el efecto de la terapia física sobre las variables medidas, aún cabe discutir el efecto del factor condiciones en cada una de estas. Al analizar este efecto, podemos observar si existen diferencias entre caminar sin tareas añadidas o realizando una tarea dual. Además, es posible analizar estas diferencias desde la interferencia que

provoca la tarea secundaria en la marcha. Se entiende como interferencia de la tarea dual el deterioro que provoca sobre la marcha la tarea secundaria cuando ambas se realizan al mismo tiempo, que se calcula como un porcentaje de la marcha realizada sin tareas añadidas. Esta información ya ha sido referenciada en la bibliografía previa demostrando que el desempeño de la marcha varía en función de la tarea secundaria cognitiva en adultos jóvenes, pacientes mayores y en la población con alteraciones neurológicas (23).

Hasta ahora, en ningún trabajo se ha descrito qué tipo de tareas secundarias podrían tener un mayor riesgo sobre la calidad de la marcha, debido a la interferencia que las tareas añadidas tienen sobre esta. La evidencia de este trabajo apoya que, en pacientes sin entrenamiento, tanto las tareas cognitivas como las motoras con los brazos producen un deterioro similar en la marcha, pero que, tras un entrenamiento físico, es posible minimizar la interferencia de ambas tareas hasta el punto de establecer que las tareas cognitivas de tipo verbal, producen un deterioro en la marcha por sobre otras tareas cognitivas y por sobre una tarea motora.

Interferencia de la tarea secundaria antes de rehabilitación

En la evaluación previa a la rehabilitación se observó que la condición dual que presenta un deterioro significativo con respecto a la condición de marcha basal (*i.e.* TS) en la mayoría de variables medidas es la tarea verbal. Esto se manifiesta en un peor desempeño observado en la *velocidad* de marcha, *longitud* y *duración de zancada*, *tiempo de doble apoyo*, *longitud de paso*, *rango de flexo-extensión de tobillo* y *flexión máxima de rodilla y cadera* durante la tarea verbal que en el resto de condiciones. Este desempeño durante la realización de una tarea verbal, quedó reflejado en el porcentaje de interferencia en la marcha durante esta condición, el que alcanzó hasta un 14,43% en la *velocidad*. Este comportamiento se evidenció tanto para pacientes como para los participantes sanos, en los cuales el porcentaje de interferencia en esta condición fue de 12% para la misma variable. Además, la tarea verbal fue la única tarea que presentó diferencias significativas con otras tareas duales, específicamente con las condiciones visual y auditiva en la variable *tiempo de doble apoyo* en el grupo de personas con EP.

Mientras que, en el *tiempo de doble apoyo*, la tarea verbal tuvo una interferencia del 12,6%, las tareas visual y auditiva presentaron una interferencia alrededor del 7%.

La mayor interferencia de la tarea verbal, tanto en sujetos sanos como con EP, puede explicarse debido a que el habla no es una función cognitiva en la que esté implicada la regulación de los circuitos en los que se ven involucrados los núcleos de la base. La función de “hablar” está controlada por áreas específicas de la corteza cerebral como lóbulo frontal del hemisferio cerebral izquierdo y el lóbulo temporal (10), por lo que esta tarea tendría una interferencia similar entre sujetos sanos y con EP. Por otra parte, la tarea verbal podría estar quitando recursos de otras áreas corticales que se ven hiperactivadas en la marcha parkinsoniana, a modo de compensación de la falta de regulación de movimiento por parte de los núcleos de la base (122). Otra cuestión por la que la tarea verbal podría ser más compleja de realizar que el resto de tareas secundarias es por los subcomponentes que conlleva: léxico, planificación del mensaje, extensión del mensaje y movimiento motor oral. En un estudio en el que se analiza la interferencia sobre la marcha de los distintos componentes de una tarea verbal se ha demostrado que la parte motora de esta produce la mayor cantidad de interferencia dentro de un paradigma de doble tarea (139).

Por detrás de la tarea verbal, la segunda tarea que más interferencia provocó sobre la marcha (TS) fue la tarea motora, que en este estudio consistió en trasladar y transferir el contenido de un vaso plástico a otro, llevados en cada mano. Al igual que con la tarea verbal, donde más se observó la interferencia de la tarea motora fue en las variables espacio-temporales, sin embargo, en esta condición, el porcentaje de interferencia fue claramente diferente entre sujetos sanos y con EP, alcanzando un 10% y 15% en la *velocidad* de marcha, un 8% y 13% en la *longitud de zancada* y un 8% y 12% en la *longitud de paso*, respectivamente. Aunque el porcentaje de interferencia de la tarea motora puede traducirse en diferencias clínicas considerables entre pacientes y personas sanas, el efecto estadístico del factor *condiciones* solamente tuvo una interacción significativa con el factor *grupo* para la variable *longitud de paso*, por lo que

la forma en que las tareas secundarias afectan este desempeño es similar para ambos grupos antes de realizar la rehabilitación física.

Por otra parte, la tarea que menos diferencias significativas alcanzó con la marcha en condición de TS y, que menos interferencia provocó, fue la tarea visual, logrando diferencias significativas con la condición basal en las variables *longitud de zancada* y *tiempo de apoyo bipodal* similar para ambos grupos de sujetos, lo que significó un porcentaje de interferencia de alrededor de un 7% en ambas variables. El motivo por el que una tarea visual pueda tener una menor interferencia sobre la marcha, en comparación con otras tareas secundarias, es porque la vista es un recurso habitual tanto para mantener el equilibrio como para realizar un patrón de marcha adecuado. Es posible que los recursos neuronales para realizar una tarea visual (aunque sea novedosa para los sujetos) no sean muy diferentes a los requerimientos visuales utilizados habitualmente en la vida diaria. En capítulos anteriores hemos descrito que de los sistemas de los cuales depende el equilibrio, la vista es el más utilizado por las personas, por lo que sería una "tarea secundaria" ampliamente entrenada en la vida diaria.

Interferencia de la tarea secundaria después de rehabilitación

Las diferencias en la ejecución de la marcha entre las diferentes condiciones también se midieron al terminar la intervención. Los cambios observados estuvieron condicionados por el *grupo* al que pertenecían los pacientes, lo que quedó demostrado por el efecto significativo del factor *condiciones* y su interacción con el factor *grupo* y *rehabilitación*, específicamente en las variables *longitud* y *duración de zancada*, *longitud de paso* y *flexión máxima de rodilla y cadera*. Es decir, tras los respectivos programas de rehabilitación, las tareas secundarias no afectaron por igual la marcha de sujetos controles y experimentales.

Para el GE, tanto en los tiempos de evaluación postrehabilitación como en el seguimiento, la tarea secundaria que provocó un peor desempeño de marcha volvió a ser la tarea verbal, cuyo porcentaje de interferencia fue del 13,8 % en la *velocidad*, del 10% para la *longitud de paso* y del 9% y 7% para la *longitud* y *duración de zancada*,

respectivamente. La segunda tarea secundaria que provocó más interferencia en la marcha fue la tarea auditiva (10,56% en la *velocidad*), lo que se mantuvo en ambas medidas tras realizar rehabilitación. Para este mismo grupo, las tareas que menos diferencias estadísticas tuvieron con la marcha basal fueron las tareas visual y motora. Concretamente, fue la tarea motora la que logró la mínima de las interferencias en las variables. Esto puede estar explicado porque, tras la rehabilitación, el control del movimiento voluntario se ha mejorado ampliamente, tanto en la marcha basal como en la tarea motora de los brazos. En estudios previos se observó que durante los movimientos de las extremidades en condiciones de doble tarea, las personas con EP demostraron mayores niveles de actividad en las áreas corticales premotora y prefrontal en comparación con las personas sanas (140). De esto se puede interpretar que las personas con EP tienen la capacidad de mejorar el desempeño de dobles tareas motoras (por encima de las cognitivas) gracias a las vías de control de movimiento voluntario (23). Una información relevante que apoya esta teoría, es que el mínimo cambio clínico significativo de la velocidad, estudiado en condiciones duales de marcha, es superior cuando se desarrolla una tarea dual motora que una tarea cognitiva (129). Anteriormente hemos comentado cómo diferentes áreas motoras corticales se hiperactivan cuando es necesario compensar los déficits de movimiento, pero esto se ha evidenciado solamente en tareas motoras, no cognitivas.

En el caso del GC, se observó que la tarea con mayor interferencia fue la verbal, al igual que en el GE y que lo observado en la medida pre intervención. Sin embargo, en el resto de condiciones duales no observamos diferencias con la condición basal en las variables medidas, consecuentemente no puede asegurarse que las tareas visual, auditiva o motora tengan una interferencia distinta sobre la marcha. Es decir, la única condición en la que se observó que el desempeño fue significativamente inferior que en la marcha como TS, fue en la tarea verbal; concretamente en las variables *velocidad*, *longitud y duración de zancada*, *cadencia*, *tiempo de doble apoyo*, *flexión de rodilla* y *flexión máxima de cadera*. Esto explica que una tarea secundaria verbal pueda estar provocando una interferencia más allá del tipo de rehabilitación al que se sometan los pacientes y que,

por otra parte, las personas del GC realicen una marcha basal con un deterioro similar al observado en las otras tareas secundarias, no logrando diferencias significativas entre estas.

Para poder comparar nuestros hallazgos con las investigaciones revisadas, hemos calculado la interferencia de las tareas duales en los otros estudios antes y después del tratamiento, siempre y cuando la información aportada por los autores fuese suficiente para obtener este dato. Analizar el estudio de Brauer *et al.* (84) en este sentido era esencial, ya que se habían utilizado tareas secundarias similares a las nuestras. Las interferencias de las tareas duales de dicho estudio fueron similares a las de nuestro trabajo. Es decir, antes de la rehabilitación, la tarea verbal y motora (trasladar monedas) provocaron una interferencia del 11% sobre la marcha frente al 7% alcanzado por el resto de las tareas secundarias (matemática, auditiva y visual). Mientras que, tras la rehabilitación, el porcentaje de interferencia fue homogéneo entre las tareas secundarias evaluadas, excepto en la tarea auditiva y visual, donde éste fue de 1% y 8% respectivamente.

Los motivos por los que las tareas secundarias provocan una interferencia en la marcha cuando se realizan al mismo tiempo puede estar explicada por la teoría del *embotellamiento*, descrita previamente en la literatura (54). En una tarea dual, ambas tareas compiten por los mismos recursos de procesamiento, por lo que, con el fin de completar una tarea, la segunda es pospuesta, resultando en el detrimento de la tarea secundaria o de la tarea que no tiene la atención de la persona que la ejecuta (tarea automática). Esto va en línea con la información que referencia al circuito de los núcleos de la base como reguladores en otros circuitos no motores, llegando a describirse circuitos anatómicamente segregados con áreas específicas de la corteza cerebral como las áreas prefrontal y límbica, entre otras (10,11). Esto explicaría, además, los signos y síntomas no motores de la enfermedad. Por otra parte, en la EP existe una capacidad disminuida de producir movimientos automáticos (como el estar de pie manteniendo una postura o caminar) por lo que esta disfunción puede conducir a una mayor dependencia de los recursos cognitivos para controlar los movimientos. No obstante, es

posible revertir esta disfunción en pacientes sin deterioro cognitivo, tal y como se ha comprobado en este trabajo, tras un entrenamiento con demandas tanto físicas como cognitivas.

V.5 Efecto del entrenamiento sobre el comportamiento entre hemicuerpos

La EP es una enfermedad caracterizada porque los signos clínicos motores que la describen aparecen primero en un hemicuerpo, pudiendo pasar un periodo de tiempo extenso sin que éstos se evidencien en el otro lado del cuerpo (21). Hasta ahora, no existe un consenso sobre si el lado donde se comienzan a observar los signos de la enfermedad es el lado dominante o no dominante. A pesar de esto, los autores que analizan los efectos de la rehabilitación de marcha con tareas duales no tienen en cuenta las posibles diferencias entre hemicuerpos y, a la hora de analizar las variables como *longitud de paso* o *rango de movimiento articular*, solamente obtienen un promedio de ambos lados, cuestión que a nuestro parecer debería ser fundamental considerar a la hora de programar la rehabilitación. Un factor importante a tener en cuenta al analizar el comportamiento entre hemicuerpos, es que no es posible clasificarlos como derecho e izquierdo o como dominante y no dominante, porque no nos permiten saber cuál es el hemicuerpo donde comenzaron los signos de la EP o donde estos predominan. Es por eso que, en este trabajo, hemos optado por diferenciarlos entre A y B, siendo A el hemicuerpo en donde se exhibe predominio de los signos de la enfermedad y donde iniciar los signos, según las referencias de los propios pacientes. Por otro lado, el hemicuerpo B fue definido como el hemicuerpo menos afectado por los signos de la EP (en los pacientes en estadio III de H&Y) o en el que aún no han aparecido los signos del Parkinson (en el caso de los pacientes en estadio II de H&Y). Esta forma de clasificación se ha utilizado en estudios previos sobre la valoración de la asimetría en el movimiento de los brazos y en estudios sobre los efectos de la estimulación cerebral profunda (141,142). En cuando a los participantes de nuestro estudio, el número de personas que tienen como lado A el derecho e izquierdo es prácticamente igual (22 y 18 respectivamente). Antes de iniciar la rehabilitación, se observaron diferencias

estadísticamente significativas solamente en la variable *longitud de paso* durante la condición verbal, en la cual la longitud alcanzada con el hemicuerpo B fue 4 centímetros más larga que con el hemicuerpo A. Tras la rehabilitación, las diferencias entre hemicuerpos se intensificaron en el grupo experimental en las variables *longitud de paso* principalmente, y en el *grado máximo de extensión de cadera* y de *flexión de rodilla* en algunas condiciones duales. Específicamente el GE con el lado B realiza un paso significativamente más amplio que el lado A en las condiciones basal, visual y auditiva, alcanzando hasta 5 centímetros de diferencia entre hemicuerpos. En el GC estas diferencias se observaron solamente en la medida de seguimiento en la condición basal y auditiva, logrando con el hemicuerpo B una longitud de 4 centímetros más que con el hemicuerpo A. Este patrón asimétrico, tras ambos programas de rehabilitación, no necesariamente representa un signo negativo, sino que da cuenta de que un hemicuerpo mejora más que otro en las variables en las que realizan un desempeño de manera disociada. Cabe recordar, que la *longitud de paso*, es una de las variables que presentó mayor magnitud de mejoría tras la rehabilitación experimental, tanto en el lado A como en el B. Creemos que esto indica que un hemicuerpo, tiene un mayor potencial de recuperación, tras una intervención física, lo que concuerda con el inicio del deterioro motor asimétrico de la EP.

En lo referente a las variables cinemáticas mencionadas anteriormente, en el grado de *extensión máximo de cadera*, las diferencias solamente se observaron en la medida de seguimiento para el GE durante las condiciones duales cognitivas. Mientras que, en la variable *flexión máxima de rodilla*, esto ocurrió durante las condiciones basal y visual de la medida postrehabilitación y seguimiento, respectivamente. En todas las diferencias estadísticas observadas entre hemicuerpos en las variables de movimiento articular, el desempeño del hemicuerpo B no sobrepasó los 3° de amplitud con respecto al hemicuerpo A. En general, las diferencias entre hemicuerpos tras un periodo de rehabilitación en el que se ha visto mejoría pueden ser útiles para realizar una estrategia compensadora en la marcha, a expensas del hemicuerpo menos afecto (o no afectado)

por los signos de la EP. En nuestra investigación, esto podría ser un motivo más por el que los pacientes del GE mejoraron la *longitud de zancada* y la *velocidad*.

Esta información resulta útil a la hora de reeducar movimientos funcionales como las transferencias o los cambios de patrones motores durante la marcha; *e. g.* al programar con qué lado del cuerpo iniciar el paso, bajar una escalera o sobre qué lado del cuerpo girar. Este comportamiento diferenciado entre hemicuerpos, se ha evidenciado en diferentes gestos motores, como cambios de dirección, levantarse de una silla y andar (143,144) y en la marcha sobre *treadmill* (141). Además, esta información puede ser importante a la hora de planificar ejercicios motores complejos, exclusivos para el lado menos afecto por los signos de la EP, *e. g.* para entrenar la motricidad de los miembros superiores o la mano.

V.6 Efecto del entrenamiento en variables clínicas

Durante este trabajo, además de la valoración biomecánica, se utilizaron test clínicos para evaluar el estado de las funciones cognitivas ejecutivas, el equilibrio, la función de marcha y la calidad de vida a través del estado de salud percibido.

De las pruebas utilizadas para evaluar las funciones ejecutivas, la prueba FAB no mostró cambios tras la rehabilitación en ninguno de los dos grupos de pacientes con EP ($p < 0,05$). Sin embargo, en la prueba cognitiva TMT_{A-B}, se observó una reducción del tiempo de ejecución de la parte A (velocidad de procesamiento) de este test en el GE durante medida de seguimiento, en la que los pacientes debían unir una serie de números desordenados del 1 al 24. Si bien no podemos asegurar que las capacidades cognitivas de los pacientes hayan mejorado tras el entrenamiento durante el desempeño de tareas duales, esta disminución del tiempo de ejecución del test *Trail Making* puede significar que el entrenamiento con tareas cognitivas de distinta naturaleza (visual, matemáticas, auditivas, verbales, razonamiento, etcétera) hayan logrado una mejora de las funciones ejecutivas cuando se realizan como TS. En otros estudios que evaluaron el desempeño de la tarea cognitiva durante la marcha dual, observaron una mejoría

significativa de esta tras la rehabilitación con tareas secundarias (76,119). Sin embargo, no analizan la evolución presentada por los pacientes en test cognitivos como las escalas descritas en esta investigación, sino que, simplemente las utilizan para describir a la muestra antes del estudio.

El equilibrio y la marcha medida con los test clínicos también tuvo una evolución favorable tras la rehabilitación para el GE. Se observó una mejoría estadísticamente significativa de este grupo en los tres test utilizados (DYPAGS, Tinetti, TUG), tanto en la evaluación postrehabilitación como de seguimiento, lo que ha sido correlacionado con un menor riesgo de caídas (26,99,100). Cabe mencionar que el tiempo requerido para realizar la prueba TUG en ninguna de las instancias evaluativas fue más de 13,5 s, indicando que el desempeño siempre estuvo dentro de los valores normales referenciados en la literatura para ambos grupos de pacientes. Por otra parte, en el GC solamente se observa una mejoría significativa en la prueba Tinetti relacionada con el equilibrio y en la puntuación total. Este comportamiento fue lo esperado debido a que, por una parte, el test DYPAGS tiene una complejidad mayor que el test Tinetti, debido a que incluye una parte de caminar realizando una tarea verbal. Por otra parte, el subtest de marcha evalúa parámetros espacio-temporales de manera subjetiva como, por ejemplo, si un pie adelanta a otro o si existe una separación de los talones al caminar. Debido a que no se observaron cambios en las variables espacio-temporales medidas objetivamente, el resultado del test Tinetti_G, fue coherente. Estos hallazgos podrían referir que el test Tinetti y DYPAGS es más específico a la hora de evaluar la marcha en los pacientes con EP, que la prueba TUG.

Por último, en la escala PDQ-39, específica para la calidad de vida, los pacientes del GE percibieron una mejora significativa de la calidad de vida tras el entrenamiento dual que se mantuvo tras ocho semanas sin ningún tipo de intervención; mientras que el GC no registró ningún cambio. Creemos que el impacto de realizar un mejor desempeño durante condiciones duales ha sido trasladado a situaciones de la vida diaria, que tienen una exigencia mucho menor que las experimentadas dentro del protocolo de rehabilitación propuesto en esta investigación. Esto explicaría esa mejor percepción de

su estado de salud, a diferencia del GC, cuyos participantes no mostraron una evaluación de esta percepción, probablemente debido a que su programa de intervención no incluía tareas cognitivas ni duales.

V.7 Diferencias de la marcha parkinsoniana y personas sanas

Hasta la fecha, este es el primer trabajo en el que, además de analizar la efectividad de la rehabilitación con tareas duales se incluye una muestra de sujetos sanos para contrastar los cambios en la marcha de las personas con EP. Para comparar los desempeños de uno y otro grupo, se calculó el porcentaje de deterioro de los pacientes, en relación al desempeño mostrado por el GS (Apartados IV.2,5-6).

Diferencias antes de la rehabilitación

El grupo de pacientes con EP realizó un desempeño significativamente inferior en todas las condiciones evaluadas en las variables *velocidad* de marcha, *longitud de zancada*, *tiempo de doble apoyo*, *longitud de paso*, *flexión máxima de rodilla* y en el *movimiento de flexión máxima de cadera*. En todas estas variables, las personas con EP mostraron un deterioro que varió entre el 10% y el 20% en relación al desempeño de los sujetos sin enfermedad, siendo la *velocidad* de marcha la variable que generó diferencias de mayor magnitud entre ambos grupos. Estas diferencias observadas en nuestro trabajo coinciden con estudios previos (28,32).

En el resto de variables de marcha analizadas, las diferencias entre el grupo de pacientes y el de personas sanas solamente se encontraron en algunas de las condiciones de marcha, concretamente en las condiciones basal, verbal y motora. En las variables *duración de zancada*, *cadencia* y *rango de tobillo*, los participantes con EP mostraron un desempeño menor que los controles sanos, que varió entre el 10% y el 15% aproximadamente. Esto significa que los pacientes y los sujetos sanos no se diferencian cuando caminan simultáneamente a la realización de una tarea visual o auditiva en la mayoría de los casos. Por otra parte, en la variable *extensión máxima de cadera* no se hallaron diferencias entre grupos en ninguna de las condiciones. Estos hallazgos avalan

lo referenciado por otros estudios, en los que se describe que el patrón de marcha parkinsoniano es un patrón similar al propio del envejecimiento, pero con ciertas características más agravadas (28,36), como las variables espacio-temporales tal y como se ha demostrado en este estudio.

Diferencias tras la rehabilitación

Tras realizar las intervenciones experimental y control, se comparó el desempeño de éstos con el GS por separado, ya que los programas de intervención fueron distintos.

El GE alcanzó un desempeño similar en la marcha al mostrado por el grupo de sujetos sanos en todas las variables y en todas las condiciones, tanto en la medida postrehabilitación como en la de seguimiento. Incluso en la marcha dual junto a una tarea motora superó al desempeño del grupo sin patología en las variables *velocidad* y *longitud de zancada* de la medida postrehabilitación, donde las diferencias estadísticas encontradas significaron una ventaja del 7,54% y 13% respectivamente. Esta información plantea que, en la rehabilitación de los pacientes con EP sin deterioro cognitivo, el pronóstico de mejora puede llegar a ser tan alto o mejor que el desempeño de sujetos sanos emparejados en edad.

Cabe mencionar que las personas envejecidas sin patologías concomitantes sufren un deterioro del equilibrio y de la marcha normal, producto del envejecimiento (145), pero esto no se compara con el doble riesgo de deterioro que sufren los pacientes con EP por encontrarse en una situación de doble vulnerabilidad: envejecimiento y enfermedad de Parkinson. Es por esto que, en futuros estudios que comparen el desempeño en la marcha o el equilibrio de los pacientes con EP con personas sanas, es necesario considerar la caracterización de la marcha de personas no envejecidas, para determinar el déficit real que estos pacientes pueden tener con respecto a personas sin ningún tipo de alteración.

En este trabajo se evidenció que los pacientes con EP son capaces de superar la *velocidad* y la *longitud de zancada* en condición de TD cuando se realiza una tarea secundaria motora tras el programa de rehabilitación propuesto. Nuestros hallazgos nos

permiten deducir que los pacientes con EP, no solamente pueden mejorar la marcha en condiciones duales, sino también, la magnitud de la interferencia sobre la marcha que provoca la tarea secundaria cuando esta es motora. Apoyando esta información, se encuentran los estudios que referencian las ventajas neurofisiológicas de la terapia física y el ejercicio físico explícitamente en la EP, donde este tendría una influencia sobre los procesos neurodegenerativos a través de la producción de factores neurotróficos endógenos como el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF). Su papel neuroplástico se debe a que este factor promueve la supervivencia y crecimiento de neuronas en el núcleo de los ganglios basales afectado en la EP (146,147).

Por otra parte, el GC presentó un desempeño similar al grupo de sujetos sanos en las variables *duración de zancada*, *cadencia* y en el *movimiento articular de tobillo y cadera*, concretamente en la evaluación postrehabilitación. En la medida de seguimiento, solamente el *movimiento articular de tobillo y cadera* del GC seguía siendo similar al observado en los sujetos sin patología, siendo peor el desempeño en un 15% para la *velocidad*, un 9,5% para la *longitud de zancada*, un 13% para el *tiempo de apoyo bipodal* y un 12,3% y un 10,36% en la *flexión de rodilla máxima* con el hemicuerpo A y B, respectivamente. Esto significa que la intervención de fisioterapia general (sin tareas duales) no logró normalizar la marcha (en la mayoría de las variables) de los sujetos con EP a los valores presentados por los sujetos sanos pareados en edad y género.

V.8 Aplicación clínica de un programa de rehabilitación con tareas duales

En el pasado se recomendaba a los fisioterapeutas enseñar, a los pacientes con EP, a evitar el desempeño de tareas duales durante la marcha (148), debido al grado de complejidad que supone su ejecución, lo que aumenta el riesgo de caídas de los pacientes (23). Sin embargo, creemos que la recomendación de evitar las tareas duales, tal y como se concluía en el estudio del 51 *et al.*, entra en conflicto con lo que realmente ocurre en el día a día, en las cuales las personas se ven envueltas en situaciones de multitarea. En su lugar, demostramos que la mejor estrategia es preparar y mejorar las capacidades de las personas con EP, frente a las actividades que puedan llevar a una

posible caída; más aún, cuando hemos demostrado que en pacientes sin deterioro cognitivo es posible mejorar la marcha en condiciones de doble tarea. Tras realizar esta investigación, hemos podido observar que el ejercicio terapéutico en condiciones duales ofrece dos importantes ventajas: 1) aporta un contexto funcional a la rehabilitación, debido a que introduce al paciente a un ambiente de múltiples tareas lo que se asemeja a los ambientes habituales de la vida diaria y, 2) permite la estimulación de varias vías de control neurológico del movimiento, lo que es fundamental cuando existe lesión o alteración en alguna de ellas. En relación al primer punto, tradicionalmente la rehabilitación física, sea individual o grupal, se realiza en un gimnasio de rehabilitación y en un ambiente controlado que, en ocasiones, poco se asemeja a las experiencias que los pacientes experimentan en sus vidas o en ambientes de múltiples estímulos como la calle o un supermercado. La rehabilitación en condiciones duales simula este tipo de ambientes y, de manera progresiva, busca que el paciente se desenvuelva con éxito mientras realiza dos tareas simultáneas. Esto no solo supone un reto para las personas con EP, sino también, para la propia fisioterapia ya que introduce en la rehabilitación actividades y ejercicios cognitivos.

En relación a las características de los participantes de los estudios previos y de nuestra propia investigación, un criterio de inclusión utilizado por todos los investigadores fue que los pacientes no presentaran alteración cognitiva y, por lo tanto, la severidad de la enfermedad de los participantes varió entre los estadios I y III de la escala H&Y (en la que solamente se observa deterioro físico). Solamente uno de los trabajos previos permitió la inclusión de pacientes en estadio IV, previa comprobación de la indemnidad del estado cognitivo. Este criterio se utilizó para asegurar la correcta administración de la rehabilitación con tareas duales, debido a que gran parte de los ejercicios planteados son tareas cognitivas de distinta complejidad o de gran exigencia. Esto supone una desventaja de este tipo de programas de intervención, ya que excluye a las personas con EP que presenten una severidad de la enfermedad de estadio IV y V, cuyas características suponen un deterioro cognitivo, por lo que la rehabilitación grupal no sería factible. A pesar de esto, existen estudios que prueban protocolos de rehabilitación

con TD en pacientes con algún grado de trastorno cognitivo como ocurre en la enfermedad de Alzheimer, demencia y daño cerebral adquirido por lesión traumática o accidente cerebro vascular (149), por lo que no se debería descartar la aplicabilidad del tratamiento con tareas duales en personas con deterioro cognitivo detectado.

En línea con lo anterior, se ha evidenciado que el entrenamiento cognitivo por sí mismo, no solo mejora el desempeño cognitivo, sino también la marcha (129). Esto queda explicado porque las funciones cognitivas juegan un papel importante en las estrategias utilizadas durante la deambulaci3n, sobre todo en pacientes con EP, ya que se ha demostrado que estas estrategias atencionales reclutan regiones cerebrales alternativas de control para mejorar la marcha, por lo que los fisioterapeutas no deberíamos desestimar la incorporaci3n de tareas cognitivas durante el entrenamiento.

La evidencia generada en este trabajo apoya que, en los programas de rehabilitaci3n para personas con EP, se deben incluir tareas duales de marcha, motoras y cognitivas, con una complejidad adaptada al grado de severidad de la EP. No solo es importante el entrenamiento en contextos funcionales, sino que este debe suponer un alto reto para el paciente. Cuando las personas con EP entrenaron en condiciones demandantes, pudimos percibir una confianza adquirida frente a las actividades de la vida diaria, debido a que, durante la rehabilitaci3n, los participantes del grupo experimental ya se habían enfrentado a situaciones más complejas, lo que podría ser objetivo de análisis en futuros estudios. Concluimos que la rehabilitaci3n con tareas duales debe enseñar al paciente a flexibilizar la atenci3n de una tarea a otra, para que puedan utilizar ambas estrategias durante la marcha. Esta flexibilizaci3n implica que se utilicen y estimulen las dos vías de regulaci3n neuronal sobre la marcha y que, además, los pacientes puedan funcionar de manera eficiente en ambientes complejos o situaciones de alta demanda cognitivo-motora.

Capítulo VI. CONCLUSIONES

1. En los pacientes con enfermedad de Parkinson, las variables *velocidad* de marcha, *longitud de zancada* y *tiempo de doble apoyo* se ven significativamente alteradas cuando se desarrolla cualquier tipo de tarea secundaria durante la marcha. Mientras que, las variables *duración de zancada*, *longitud de paso* y *rango de tobillo*, se alteran mayormente con una tarea verbal y motora.
2. En personas mayores sanas, las variables *velocidad*, *tiempo de doble apoyo* y *longitud de paso* y de *zancada* se ven significativamente alteradas cuando se desarrolla cualquier tipo de tarea secundaria durante la marcha. En cuanto a las variables *duración de zancada* y *cadencia*, solamente se vieron significativamente alteradas con la tarea verbal y auditiva. Las variables cinemáticas estudiadas no se alteran en la ejecución de marcha con tareas añadidas.
3. Las personas con enfermedad de Parkinson realizan un patrón de marcha significativamente alterado en todas las variables espacio-temporales estudiadas y en las variables cinemáticas *rango de tobillo*, *flexión máxima de rodilla* y *cadera en fase de oscilación*, con respecto a las personas mayores sanas.
4. Las personas con enfermedad de Parkinson, que realizan un programa de rehabilitación con tareas duales, mejoran significativamente el desempeño de la marcha en todas las variables espacio-temporales estudiadas, caminando con tareas duales o sin ellas. Las variables cinemáticas que mejoran significativamente, en condiciones simples y duales, son el *rango de tobillo*, la *extensión máxima de cadera en fase de apoyo* y la *flexión de rodilla máxima en fase de oscilación*.
5. El patrón de marcha de las personas con enfermedad de Parkinson al término de un programa de fisioterapia con tareas duales, es significativamente mejor que una vez terminado un programa de fisioterapia habitual con tareas simples, en las variables *velocidad*, *longitud de zancada*, *tiempo de doble apoyo* y *longitud de paso*, tanto en condiciones duales como simples. Además, presentan una evolución significativamente superior en la *duración de zancada*, *cadencia* y *flexión máxima de rodilla* durante la marcha sin tareas secundarias.

6. El programa de fisioterapia con tareas duales permite que los pacientes igualen el patrón de marcha de las personas mayores sanas en todas las variables biomecánicas registradas en este estudio.
7. Tras realizar un programa de rehabilitación con tareas duales, la marcha de los pacientes con enfermedad de Parkinson se ve alterada de forma significativa en mayor medida por una tarea de tipo verbal. La tarea motora no altera la biomecánica de la marcha en ninguna de las variables que caracterizan a la enfermedad, con excepción de la velocidad. Esto difiere de lo que ocurría en condiciones basales en cuya valoración se observaba que todas las tareas secundarias tenían una interferencia similar sobre la marcha.
8. Los pacientes que completan un programa de fisioterapia con tareas duales mantienen las mejorías observadas en la biomecánica de la marcha tras ocho semanas sin rehabilitación.
9. Las personas con enfermedad de Parkinson que realizan un programa de fisioterapia con tareas duales tienen un mejor patrón de marcha que los pacientes que realizan un programa de fisioterapia habitual de manera significativa, tras ocho semanas sin terapia física. Esto se observa tanto en condiciones duales como simples y en las variables *velocidad*, *longitud de zancada*, *tiempo de doble apoyo* y *longitud de paso*.
10. Las personas con enfermedad de Parkinson que realizan un programa de fisioterapia con tareas duales son capaces de mantener un patrón de marcha similar al de personas mayores sanas, tras ocho semanas sin terapia física.
11. Ocho semanas después de finalizar un programa de rehabilitación con tareas duales, la marcha de los pacientes con enfermedad de Parkinson es interferida en mayor medida por una tarea de tipo verbal. La marcha con tareas visuales y motoras presenta una interferencia significativamente inferior que la marcha con una tarea verbal. La tarea motora secundaria no altera la biomecánica de la marcha en ninguna de las variables que caracterizan a la enfermedad, a excepción de la *velocidad* que sí alcanza niveles de significación estadística.

12. En condiciones basales no existen diferencias significativas entre hemicuerpos durante el desempeño de la marcha. Sin embargo, tras el entrenamiento con tareas duales se observan diferencias significativas debido a la magnitud de la mejoría que presenta el hemicuerpo menos afecto.
13. Existe una mejoría significativa de la marcha, el equilibrio y la movilidad de las personas con enfermedad de Parkinson, medidos con pruebas clínicas, tras un programa con tareas duales. Este efecto perdura tras ocho semanas sin ningún tipo de terapia física.
14. Tras un programa de rehabilitación con tareas duales no se observan cambios clínicamente significativos en el funcionamiento cognitivo ejecutivo de las personas con enfermedad de Parkinson.
15. El programa de rehabilitación con tareas duales mejora significativamente la calidad de vida de las personas con enfermedad de Parkinson.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. von Campenhausen S, Bornschein B, Wick R, Bötzel K, Sampaio C, Poewe W, et al. Prevalence and incidence of Parkinson's disease in Europe. *European Neuropsychopharmacology*. 2005 Aug 1;15(4):473–90.
2. Jankovic J. Parkinson's disease: Clinical features and diagnosis. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 2008;79(4):368–76.
3. R. García-Ramos, E. López Valdés, L. Ballesteros, S. Jesús, P. Mir. Informe de la Fundación del Cerebro sobre el impacto social de la enfermedad de Parkinson en España. *Neurología*. 2016;2016;31(6):401—413.
4. Nerijs M, Fink A, Doblhammer G. Parkinson's disease in Germany: prevalence and incidence based on health claims data. *Acta Neurol Scand*. 2017 Nov;136(5):386–92.
5. Julián Benito-León. Epidemiología de la enfermedad de Parkinson en España y su contextualización mundial : *Neurología.com*. 2018 [cited 2018 Apr 21].
6. Adams WR. High-accuracy detection of early Parkinson's Disease using multiple characteristics of finger movement while typing. *PLoS ONE*. 2017;12(11):e0188226.
7. Bach Jan-Philipp, Ziegler Uta, Deuschl Günther, Dodel Richard, Doblhammer-Reiter Gabriele. Projected numbers of people with movement disorders in the years 2030 and 2050. *Movement Disorders*. 2011 Oct 21;26(12):2286–90.
8. Esther Peñas Domingo, María Gálvez Sierra, Mayca Marín Valero, Mar Pérez-Olivares Castiñeira. El libro blanco del Parkinson en España. Real Patronato sobre Discapacidad (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad) y Federación Española de Párkinson. 2015.
9. ESTUDIO SOBRE LAS ENFERMEDADES NEURODEGENERATIVAS EN ESPAÑA Y SU IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid y Neuroalianza: alianza Española de enfermedades neurodegenerativas; 2016 Feb.
10. López del Val, Linazaroso Cristóbal. Parkinson y Discinesias. Abordaje diagnóstico y terapéutico. Madrid, España: Médica Panamericana, S.A.; 2012.
11. Eric R. Kandel, James H. Schwartz, Thomas M. Jessell, Steven A. Siegelbaum, A. J. Hudspeth. Principles of neural science. Fifth edition. United States of America: McGraw-Hill Medical; 2013.

12. Wu T, Liu J, Zhang H, Hallett M, Zheng Z, Chan P. Attention to Automatic Movements in Parkinson's Disease: Modified Automatic Mode in the Striatum. *Cereb Cortex*. 2015 Oct;25(10):3330–42.
13. Parkinson J. An essay on the shaking palsy. London; 1817.
14. Kalia LV, Lang AE. Parkinson's disease. *The Lancet*. 2015 Sep 4;386(9996):896–912.
15. Marras C, Lang A. Parkinson's disease subtypes: lost in translation? *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2013 Apr 1;84(4):409–15.
16. Clarke CE, Patel S, Ives N, Rick CE, Woolley R, Wheatley K, et al. UK Parkinson's Disease Society Brain Bank Diagnostic Criteria [Internet]. NIHR Journals Library; 2016. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK379754/>
17. Queen Square Brain Bank (QSBB) criteria for PD diagnosis [Internet]. MIMS Ireland. 2013 <https://www.mims.ie/news/queen-square-brain-bank-qsbbs-criteria-for-pd-diagnosis-02-04-2013/>
18. Hoehn MM, Yahr MD. Parkinsonism: onset, progression, and mortality. 1967. *Neurology*. 2001;57(10 Suppl 3):S11–26.
19. Djaldetti R, Ziv I, Melamed E. The mystery of motor asymmetry in Parkinson's disease. *The Lancet Neurology*. 2006 Sep 1;5(9):796–802.
20. Kempster PA, Gibb WR, Stern GM, Lees AJ. Asymmetry of substantia nigra neuronal loss in Parkinson's disease and its relevance to the mechanism of levodopa related motor fluctuations. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1989 Jan;52(1):72–6.
21. Hoorn A van der, Burger H, Leenders KL, Jong BM de. Handedness correlates with the dominant Parkinson side: A systematic review and meta-analysis. *Movement Disorders*. 2012 Feb 1;27(2):206–10.
22. Goetz CG, Tilley BC, Shaftman SR, Stebbins GT, Fahn S, Martinez-Martin P, et al. Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): Scale presentation and clinimetric testing results. *Movement Disorders*. 2008 Nov 15;23(15):2129–70.
23. Kelly VE, Eusterbrock AJ, Shumway-Cook A. A review of dual-task walking deficits in people with Parkinson's disease: Motor and cognitive contributions, mechanisms, and clinical implications. *Parkinson's Disease*. 2012;

24. Schenkman M, Cutson TM, Zhu CW, Whetten-Goldstein K. A longitudinal evaluation of patients' perceptions of Parkinson's disease. *Gerontologist*. 2002 Dec;42(6):790-8.
25. World Health Organization; ICF. International Classification of Functioning, Disability and Health. <http://www.who.int/icf>. Geneva; 2001.
26. Anne Shumway-Cook, Marjorie H. Woollacott. Motor Control. Translating Research into Clinical Practice. Fourth Edition. Lippincott. Williams & Wilkins.; 2012.
27. Prat et al. Biomecánica de la marcha normal y patológica. Valencia, España: Instituto de Biomecánica de Valencia; 1993.
28. Roiz R de M, Cacho EWA, Pazinato MM, Reis JG, Cliquet A, Barasnevičius-Quagliato EMA. Gait analysis comparing Parkinson's disease with healthy elderly subjects. *Arq Neuropsiquiatr*. 2010 Feb;68(1):81-6.
29. Grabli D, Karachi C, Welter M-L, Lau B, Hirsch EC, Vidailhet M, et al. Normal and pathological gait: what we learn from Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* [Internet]. 2012 Oct [cited 2018 Jun 17];83(10).
30. Morris ME, McGinley J, Huxham F, Collier J, Iansek R. Constraints on the kinetic, kinematic and spatiotemporal parameters of gait in Parkinson's disease. *Human Movement Science*. 1999 Jun;18(2-3):461-83.
31. Jacquelin Perry, Judith M. Burnfield. Gait Analysis: Normal and Pathological Function. *J Sports Sci Med*. 2010 Jun 1;9(2):353.
32. Pistacchi M, Gioulis M, Sanson F, De Giovannini E, Filippi G, Rossetto F, et al. Gait analysis and clinical correlations in early Parkinson's disease. *Funct Neurol*. 2017 Apr 6;32(1):28-34.
33. Sofuwa O, Nieuwboer A, Desloovere K, Willems A-M, Chavret F, Jonkers I. Quantitative gait analysis in Parkinson's disease: comparison with a healthy control group. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005 May;86(5):1007-13.
34. Morris M, Iansek R, Matyas T, Summers J. Abnormalities in the stride length-cadence relation in parkinsonian gait. *Mov Disord*. 1998 Jan;13(1):61-9.
35. Morris ME, Matyas TA, Iansek R, Summers JJ. Temporal stability of gait in Parkinson's disease. *Phys Ther*. 1996 Jul;76(7):763-77; discussion 778-780.

36. Morris ME, Iansek R, Matyas TA, Summers JJ. Stride length regulation in Parkinson's disease. Normalization strategies and underlying mechanisms. *Brain*. 1996 Apr;119 (Pt 2):551-68.
37. Morris ME, Iansek R, Matyas TA, Summers JJ. Ability to modulate walking cadence remains intact in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatr*. 1994 Dec;57(12):1532-4.
38. Yogev G, Plotnik M, Peretz C, Giladi N, Hausdorff JM. Gait asymmetry in patients with Parkinson's disease and elderly fallers: when does the bilateral coordination of gait require attention? *Experimental Brain Research*. 2007;177(3):336-46.
39. Ren X, Salazar R, Neargarder S, Roy S, Ellis TD, Saltzman E, et al. Veering in Hemi-Parkinson's Disease: Primacy of Visual over Motor Contributions. *Vision Res*. 2015 Oct;115(0 0):119-27.
40. Geurts ACH, Boonstra TA, Voermans NC, Diender MG, Weerdesteijn V, Bloem BR. Assessment of postural asymmetry in mild to moderate Parkinson's disease. *Gait & Posture*. 2011 Jan 1;33(1):143-5.
41. Lee E-Y, Sen S, Eslinger PJ, Wagner D, Kong L, Lewis MM, et al. Side of Motor Onset is Associated with Hemisphere-Specific Memory Decline and Lateralized Gray Matter Loss in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2015 May;21(5):465-70.
42. Alcock L, Galna B, Perkins R, Lord S, Rochester L. Step length determines minimum toe clearance in older adults and people with Parkinson's disease. *Journal of Biomechanics [Internet]*. 2017 Dec 13 [cited 2018 Feb 27]
43. Almarwani M, VanSwearingen JM, Perera S, Sparto PJ, Brach JS. Challenging the motor control of walking: Gait variability during slower and faster pace walking conditions in younger and older adults. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 2016 Sep;66:54-61.
44. Pietraszewski B, Winiarski S, Jaroszczuk S. Three-dimensional human gait pattern - reference data for normal men. *Acta Bioeng Biomech*. 2012;14(3):9-16.
45. Castagna Anna, Frittoli Serena, Ferrarin Maurizio, Del Sorbo Francesca, Romito Luigi M., Elia Antonio E., et al. Quantitative gait analysis in parkin disease: Possible role of dystonia. *Movement Disorders*. 2016 Jul 7;31(11):1720-8.
46. Arnold JB, Mackintosh S, Jones S, Thewlis D. Differences in foot kinematics between young and older adults during walking. *Gait & Posture*. 2014 Feb;39(2):689-94.

47. Rodrigo C. Miralles Marrero, Misericòrdia Puig Cunillera. Biomecánica clínica del aparato locomotor. 1ª edición. Barcelona, España.: Masson; 1998.
48. Boyer KA, Johnson RT, Banks JJ, Jewell C, Hafer JF. Systematic review and meta-analysis of gait mechanics in young and older adults. *Experimental Gerontology*. 2017 Sep 1;95:63–70.
49. Killeen T, Elshehabi M, Filli L, Hobert MA, Hansen C, Rieger D, et al. Arm swing asymmetry in overground walking. *Scientific Reports*. 2018 Aug 24;8(1):12803.
50. Vervoort G, Heremans E, Benghevoord A, Strouwen C, Nackaerts E, Vandenberghe W, et al. Dual-task-related neural connectivity changes in patients with Parkinson' disease. *Neuroscience*. 2016 Mar 11;317:36–46.
51. Beauchet O, Berrut G. Gait and dual-task: Definition, interest, and perspectives in the elderly. *Psychologie et NeuroPsychiatrie du Vieillissement*. 2006;4(3):215–25.
52. Egerton T, Danoudis M, Huxham F, Iansek R. Central gait control mechanisms and the stride length - cadence relationship. *Gait Posture*. 2011 Jun;34(2):178–82.
53. Yogev-Seligmann G, Giladi N, Gruendlinger L, Hausdorff JM. The contribution of postural control and bilateral coordination to the impact of dual tasking on gait. *Experimental Brain Research*. 2013;226(1):81–93.
54. Rochester L, Galna B, Lord S, Burn D. The nature of dual-task interference during gait in incident Parkinson's disease. *Neuroscience*. 2014 Apr 18;265:83–94.
55. Bock O. Dual-task costs while walking increase in old age for some, but not for other tasks: an experimental study of healthy young and elderly persons. *J Neuroeng Rehabil*. 2008 Nov 13;5:27.
56. Bond JM, Morris M. Goal-directed secondary motor tasks: their effects on gait in subjects with Parkinson disease. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000 Jan;81(1):110–6.
57. Galletly R, Brauer SG. Does the type of concurrent task affect preferred and cued gait in people with Parkinson's disease? *Aust J Physiother*. 2005;51(3):175–80.
58. Yogev G, Giladi N, Peretz C, Springer S, Simon ES, Hausdorff JM. Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson's disease: Which aspects of gait are attention demanding? *European Journal of Neuroscience*. 2005 Sep;22(5):1248–56.
59. O'Shea S, Morris ME, Iansek R. Dual task interference during gait in people with Parkinson disease: effects of motor versus cognitive secondary tasks. *Phys Ther*. 2002 Sep;82(9):888–97.

60. Takakusaki K. Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. *J Mov Disord*. 2017 Jan;10(1):1–17.
61. Mori S, Matsui T, Kuze B, Asanome M, Nakajima K, Matsuyama K. Stimulation of a Restricted Region in the Midline Cerebellar White Matter Evokes Coordinated Quadrupedal Locomotion in the Decerebrate Cat. *Journal of Neurophysiology*. 1999 Jul 1;82(1):290–300.
62. Takakusaki K. Neurophysiology of gait: From the spinal cord to the frontal lobe. *Movement Disorders*. 2013;28(11):1483–91.
63. Chastan N, Do MC, Bonneville F, Tornay F, Bloch F, Westby GWM, et al. Gait and balance disorders in Parkinson's disease: impaired active braking of the fall of centre of gravity. *Mov Disord*. 2009 Jan 30;24(2):188–95.
64. Lewis MM, Slagle CG, Smith AB, Truong Y, Bai P, McKeown MJ, et al. Task specific influences of Parkinson's disease on the striato-thalamo-cortical and cerebello-thalamo-cortical motor circuitries. *Neuroscience*. 2007 Jun 15;147(1):224–35.
65. Al-Yahya E, Johansen-Berg H, Kischka U, Zarei M, Cockburn J, Dawes H. Prefrontal Cortex Activation While Walking Under Dual-Task Conditions in Stroke A Multimodal Imaging Study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016 Jul 1;30(6):591–9.
66. Miocinovic S, Somayajula S, Chitnis S, Vitek JL. History, Applications, and Mechanisms of Deep Brain Stimulation. *JAMA Neurol*. 2013 Feb 1;70(2):163–71.
67. Strouwen C, Molenaar EALM, Keus SHJ, Müns L, Munneke M, Vandenberghe W, et al. Protocol for a randomized comparison of integrated versus consecutive dual task practice in Parkinson's disease: the DUALITY trial. *BMC Neurol*. 2014;14:61.
68. Sehm B, Taubert M, Conde V, Weise D, Classen J, Dukart J, et al. Structural brain plasticity in Parkinson's disease induced by balance training. *Neurobiology of Aging*. 2014 Jan;35(1):232–9.
69. Fisher BE, Li Q, Nacca A, Salem GJ, Song J, Yip J, et al. Treadmill exercise elevates striatal dopamine D2 receptor binding potential in patients with early Parkinson's disease. *NeuroReport*. 2013;24(10):509–14.
70. Petzinger GM, Fisher BE, McEwen S, Beeler JA, Walsh JP, Jakowec MW. Exercise-enhanced neuroplasticity targeting motor and cognitive circuitry in Parkinson's disease. *Lancet Neurol*. 2013 Jul;12(7):716–26.
71. Kantak SS, Winstein CJ. Learning–performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. *Behavioural Brain Research*. 2012 Mar;228(1):219–31.

72. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2003 Aug;83(8):713–21.
73. Murray E, Power E, Togher L, McCabe P, Munro N, Smith K. The reliability of methodological ratings for speechBITE using the PEDro-P scale. *International Journal of Language & Communication Disorders.* 2013 May 1;48(3):297–306.
74. Tooth L, McCluskey A, Hoffmann T, McKenna K, Lovarini M. Appraising the quality of randomized controlled trials: inter-rater reliability for the OTseeker evidence database. *Journal of Evaluation in Clinical Practice.* 2005 Dec 1;11(6):547–55.
75. Strouwen C, Molenaar EALM, Münks L, Keus SHJ, Zijlmans JCM, Vandenberghe W, et al. Training dual tasks together or apart in Parkinson's disease: Results from the DUALITY trial. *Mov Disord.* 2017 Apr 1;n/a-n/a.
76. Conradsson D, Löfgren N, Nero H, Hagströmer M, Ståhle A, Lökk J, et al. The effects of highly challenging balance training in elderly with Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair.* 2015;29(9):827–36.
77. Conradsson D, Löfgren N, Ståhle A, Hagströmer M, Franzén E. A novel conceptual framework for balance training in Parkinson's disease-study protocol for a randomised controlled trial. *BMC Neurol.* 2012 Sep 27;12:111.
78. Conradsson D, Löfgren N, Ståhle A, Franzén E. Is Highly Challenging and Progressive Balance Training Feasible in Older Adults With Parkinson's Disease? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2014 May 1;95(5):1000–3.
79. Brauer SG, Woollacott MH, Lamont R, Clewett S, O'Sullivan J, Silburn P, et al. Single and dual task gait training in people with Parkinson's disease: a protocol for a randomised controlled trial. *BMC Neurol.* 2011;11:90.
80. Fok P, Farrell M, McMeeken J. The effect of dividing attention between walking and auxiliary tasks in people with Parkinson's disease. *Hum Mov Sci.* 2012 Feb;31(1):236–46.
81. Fok P, Farrell M, McMeeken J. Prioritizing gait in dual-task conditions in people with Parkinson's. *Hum Mov Sci.* 2010 Oct;29(5):831–42.
82. Yogev-Seligmann G, Giladi N, Brozgov M, Hausdorff JM. A training program to improve gait while dual tasking in patients with Parkinson's disease: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012 Jan;93(1):176–81.

83. Mirelman A, Maidan I, Herman T, Deutsch JE, Giladi N, Hausdorff JM. Virtual reality for gait training: Can it induce motor learning to enhance complex walking and reduce fall risk in patients with Parkinson's disease? *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 2011;66 A(2):234-40.
84. Brauer SG, Morris ME. Can people with Parkinson's disease improve dual tasking when walking? *Gait Posture*. 2010 Feb;31(2):229-33.
85. Canning CG, Ada L, Woodhouse E. Multiple-task walking training in people with mild to moderate Parkinson's disease: A pilot study. *Clinical Rehabilitation*. 2008;22(3):226-33.
86. Josep M.^a Argimon Pallás, Josep Jiménez Villa. *Métodos de investigación clínica y epidemiológica*. 4.^a edición. Barcelona, España.: Elsevier; 2013.
87. Mahieux F, Michelet D, Manificier MJ, Boller F, Fermanian J, Guillard A. Mini-Mental Parkinson: first validation study of a new bedside test constructed for Parkinson's disease. *Behav Neurol*. 1995;8(1):15-22.
88. Isella V, Mapelli C, Morielli N, De Gaspari D, Siri C, Pezzoli G, et al. Validity and metric of MiniMental Parkinson and MiniMental State Examination in Parkinson's disease. *Neurological Sciences*. 2013;34(10):1751-8.
89. Parrao-Díaz T, Chaná-Cuevas P, Juri-Claverías C, Kunstmann C, Tapia-Núñez J. [Evaluation of cognitive impairment in a population of patients with Parkinson's disease by means of the mini mental Parkinson test]. *Rev Neurol*. 2005 Mar 16;40(6):339-44.
90. Dubois B, Slachevsky A, Litvan I, Pillon B. The FAB: A frontal assessment battery at bedside. *Neurology*. 2000;55(11):1621-6.
91. Rodríguez-del Álamo A, Catalán-Alonso MJ, Carrasco-Marín L. FAB: A preliminar Spanish application of the frontal assessment battery to 11 groups of patients. *Revista de Neurologia*. 2003;36(7):605-8.
92. Lima CF, Meireles LP, Fonseca R, Castro SL, Garrett C. The Frontal Assessment Battery (FAB) in Parkinson's disease and correlations with formal measures of executive functioning. *Journal of Neurology*. 2008;255(11):1756-61.
93. Army Individual Test Battery. *Manual of Directions and Scoring*. War Department, Adjutant General's Office. Washington, DC.; 1994.
94. Tombaugh TN. Trail Making Test A and B: Normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology*. 2004 Mar;19(2):203-14.

95. Elgebaly A, Elfil M, Attia A, Magdy M, Negida A. Neuropsychological performance changes following subthalamic versus pallidal deep brain stimulation in Parkinson's disease: a systematic review and metaanalysis. *CNS Spectrums*. 2017 Feb 27;1-14.
96. Arango-Lasprilla JC, Rivera D, Aguayo A, Rodríguez W, Garza MT, Saracho CP, et al. Trail Making Test: Normative data for the Latin American Spanish speaking adult population. *NeuroRehabilitation*. 2015;37(4):639-61.
97. Alberto Luis Fernández, Julián C. Marino, Ana María Alderte. Estandarización y validez conceptual del test del trazo en una muestra de adultos argentinos. *Revista Neurológica Argentina*. 2002;27:83-8.
98. Crémers J, Phan Ba R, Delvaux V, Garraux G. Construction and validation of the Dynamic Parkinson Gait Scale (DYPAGS). *Parkinsonism & Related Disorders*. 2012 Jul;18(6):759-64.
99. Harada N, Chiu V, Damron-Rodriguez J, Fowler E, Siu A, Reuben DB. Screening for balance and mobility impairment in elderly individuals living in residential care facilities. *Phys Ther*. 1995 Jun;75(6):462-9.
100. Rodríguez Guevara C, Lugo LH. Validity and reliability of Tinetti Scale for Colombian people. *Revista Colombiana de Reumatología*. 2012 Dec;19(4):218-33.
101. Kegelmeier DA, Kloos AD, Thomas KM, Kostyk SK. Reliability and validity of the Tinetti Mobility Test for individuals with Parkinson disease. *Phys Ther*. 2007 Oct;87(10):1369-78.
102. Van Iersel MB, Benraad CEM, Olde Rikkert MGM. Validity and Reliability of Quantitative Gait Analysis in Geriatric Patients with and Without Dementia. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2007 Apr 1;55(4):632-4.
103. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991 Feb;39(2):142-8.
104. Herman T, Giladi N, Hausdorff JM. Properties of the "Timed Up and Go" Test: More than Meets the Eye. *Gerontology*. 2011 Apr;57(3):203-10.
105. Vereeck L, Wuyts F, Truijen S, Heyning PV de. Clinical assessment of balance: Normative data, and gender and age effects. *International Journal of Audiology*. 2008 Jan 1;47(2):67-75.
106. van Lummel RC, Walgaard S, Hobert MA, Maetzler W, van Dieën JH, Galindo-Garre F, et al. Intra-Rater, Inter-Rater and Test-Retest Reliability of an Instrumented

- Timed Up and Go (iTUG) Test in Patients with Parkinson's Disease. PLoS One [Internet]. 2016 Mar 21;11(3).
107. Sebastião E, Sandroff BM, Learmonth YC, Motl RW. Validity of the Timed Up and Go Test as a Measure of Functional Mobility in Persons With Multiple Sclerosis. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2016 Jul;97(7):1072–7.
 108. Peto V, Jenkinson C, Fitzpatrick R, Greenhall R. The development and validation of a short measure of functioning and well being for individuals with Parkinson's disease. Qual Life Res. 1995 Jun 1;4(3):241–8.
 109. Martínez M, Frades B, Jiménez J, Pondal M, López L, Vela L, et al. The PDQ-39 Spanish version: Reliability and correlation with the short- form health survey (SF-36). Neurologia. 1999;14(4):159–63.
 110. Moreira RC, Zonta MB, Araújo APS de, Israel VL, Teive HAG, Moreira RC, et al. Quality of life in Parkinson's disease patients: progression markers of mild to moderate stages. Arquivos de Neuro-Psiquiatria. 2017 Aug;75(8):497–502.
 111. Page A, Candelas P, Belmar F. Application of video photogrammetry to analyse mechanical systems in the undergraduate physics laboratory. Eur J Phys. 2006;27(3):647.
 112. Instituto de Biomecánica de Valencia. Kinescan/IBV Sistema de análisis de movimiento. Manual de usuario. Versión 5.0. Instituto de Biomecánica de Valencia. España.; 2012.
 113. Baydal Bertomeu JM. Cinemática del raquis cervical. Definición de patrones de movimiento para la valoración funcional en el síndrome del latigazo cervical [Internet]. 2013 [cited 2014 Sep 3] <http://riunet.upv.es/handle/10251/18341>
 114. Cuerda DL, Cano R, Macías Jiménez AI, Crespo Sánchez V, Morales Cabezas M. Escalas de valoración y tratamiento fisioterápico en la enfermedad de Parkinson. Fisioterapia. 2003;201–10.
 115. Maria Stokes, Emma Stack. Fisioterapia en la rehabilitación neurológica. Tercera edición. Barcelona, España.: Elsevier Churchill Livingstone; 2013.
 116. Alcock L, Vanicek N, O'Brien TD. Alterations in gait speed and age do not fully explain the changes in gait mechanics associated with healthy older women. Gait & Posture. 2013 Apr;37(4):586–92.
 117. Keenan A. Pituch, James P. Stevens. Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences: Analyses with SAS and IBM's SPSS. 6th Edition. Routledge; 2016.

118. Andy Field. *Discovering Estatistics Using IBM SPSS STATISTICS*. 4th Edition. SAGE; 2016.
119. Strouwen C, Molenaar EALM, Münks L, Keus SHJ, Zijlmans JCM, Vandenberghe W, et al. Training dual tasks together or apart in Parkinson's disease: Results from the DUALITY trial. *Mov Disord*. 2017 Apr 25;
120. Brauer SG, Morris ME. Can people with Parkinson's disease improve dual tasking when walking? *Gait & Posture*. 2010 Feb;31(2):229–33.
121. Moher D, Hopewell S, Schulz KF, Montori V, Gotzsche PC, Devereaux PJ, et al. CONSORT 2010 Explanation and Elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ*. 2010 Mar 23;340(mar23 1):c869–c869.
122. Canning CG. The effect of directing attention during walking under dual-task conditions in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2005 Mar;11(2):95–9.
123. Della Croce U, Leardini A, Chiari L, Cappozzo A. Human movement analysis using stereophotogrammetry. *Gait & Posture*. 2005 Feb 1;21(2):226–37.
124. Castelli A, Paolini G, Cereatti A, Della Croce U. A 2D Markerless Gait Analysis Methodology: Validation on Healthy Subjects. *Comput Math Methods Med [Internet]*. 2015 [cited 2018 Feb 12];2015. PMC4430646
125. Yeh TT, Cluff T, Balasubramaniam R. Visual Reliance for Balance Control in Older Adults Persists When Visual Information Is Disrupted by Artificial Feedback Delays. *PLoS One [Internet]*. 2014 Mar 10 [cited 2018 Feb 12];9(3). PMC3948884
126. Arrigo A, Calamuneri A, Milardi D, Mormina E, Rania L, Postorino E, et al. Visual System Involvement in Patients with Newly Diagnosed Parkinson Disease. *Radiology*. 2017 Jul 11;285(3):885–95.
127. Rochester L, Baker K, Hetherington V, Jones D, Willems A-M, Kwakkel G, et al. Evidence for motor learning in Parkinson's disease: acquisition, automaticity and retention of cued gait performance after training with external rhythmical cues. *Brain Res*. 2010 Mar 10;1319:103–11.
128. Haslam C, Haslam SA, Jetten J, Bevins A, Ravenscroft S, Tonks J. The social treatment: the benefits of group interventions in residential care settings. *Psychol Aging*. 2010 Mar;25(1):157–67.
129. Strouwen C, Molenaar EALM, Keus SHJ, Münks L, Bloem BR, Nieuwboer A. Test-Retest Reliability of Dual-Task Outcome Measures in People With Parkinson Disease. *Phys Ther*. 2016 Aug;96(8):1276–86.

130. Morris ME, Iansek R, Matyas TA, Summers JJ. Stride length regulation in Parkinson's disease. Normalization strategies and underlying mechanisms. *Brain*. 1996 Apr;119 (Pt 2):551-68.
131. Albani G, Cimolin V, Fasano A, Trotti C, Galli M, Mauro A. "Masters and servants" in parkinsonian gait: a three-dimensional analysis of biomechanical changes sensitive to disease progression. *Funct Neurol*. 2014 Oct 13;29(2):99-105.
132. Caliandro P, Ferrarin M, Cioni M, Bentivoglio AR, Minciotti I, D'Urso PI, et al. Levodopa effect on electromyographic activation patterns of tibialis anterior muscle during walking in Parkinson's disease. *Gait & Posture*. 2011 Mar 1;33(3):436-41.
133. Sabatini U, Boulanouar K, Fabre N, Martin F, Carel C, Colonnese C, et al. Cortical motor reorganization in akinetic patients with Parkinson's disease: a functional MRI study. *Brain*. 2000 Feb;123 (Pt 2):394-403.
134. Hanakawa T, Fukuyama H, Katsumi Y, Honda M, Shibasaki H. Enhanced lateral premotor activity during paradoxical gait in Parkinson's disease. *Annals of Neurology*. 1999 Mar 1;45(3):329-36.
135. Pau M, Corona F, Pili R, Casula C, Sors F, Agostini T, et al. Effects of Physical Rehabilitation Integrated with Rhythmic Auditory Stimulation on Spatio-Temporal and Kinematic Parameters of Gait in Parkinson's Disease. *Front Neurol* [Internet]. 2016 Aug 11 [cited 2018 Apr 15];7. PMC4980587
136. Parkinson J. An essay on the shaking palsy. 1817. *The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences*. 2002;14(2):223-36; discussion 222.
137. Thompson NE, Demes B, O'Neill MC, Holowka NB, Larson SG. Surprising trunk rotational capabilities in chimpanzees and implications for bipedal walking proficiency in early hominins. *Nat Commun*. 2015 Oct 6;6:8416.
138. Monticone M, Ambrosini E, Fiorentini R, Rocca B, Liquori V, Pedrocchi A, et al. Reliability of spatial-temporal gait parameters during dual-task interference in people with multiple sclerosis. A cross-sectional study. *Gait & Posture*. 2014 Sep 1;40(4):715-8.
139. Davie KL, Oram Cardy JE, Holmes JD, Gagnon M, Hyde A, Jenkins ME, et al. The effects of word length, articulation, oral-motor movement, and lexicality on gait: A pilot study. *Gait & Posture*. 2012 Apr 1;35(4):691-3.
140. Wu T, Hallett M. Neural correlates of dual task performance in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 2008 Jul 1;79(7):760-6.

141. Roggendorf J, Chen S, Baudrexel S, van de Loo S, Seifried C, Hilker R. Arm swing asymmetry in Parkinson's disease measured with ultrasound based motion analysis during treadmill gait. *Gait Posture*. 2012 Jan;35(1):116–20.
142. Johnsen Erik L., Mogensen Poul H., Sunde Niels Aa., Østergaard Karen. Improved asymmetry of gait in Parkinson's disease with DBS: Gait and postural instability in Parkinson's disease treated with bilateral deep brain stimulation in the subthalamic nucleus. *Movement Disorders*. 2008 Dec 18;24(4):588–95.
143. Son M, Youm C, Cheon S, Kim J, Lee M, Kim Y, et al. Evaluation of the turning characteristics according to the severity of Parkinson disease during the timed up and go test. *Aging Clin Exp Res*. 2017 Feb 20;1–9.
144. Youm MSG, Kim MLY, Kim J. TURNING CHARACTERISTICS IN PATIENTS WITH PARKINSON'S DISEASE DURING TIMED UP AND GO. 2016;4.
145. Sale P, De Pandis MF, Vimercati SL, Sova I, Foti C, Tenore N, et al. The relation between Parkinson's disease and ageing. Comparison of the gait patterns of young Parkinson's disease subjects with healthy elderly subjects. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2013 Apr;49(2):161–7.
146. Hirsch MA, van Wegen EEH, Newman MA, Heyn PC. Exercise-induced increase in brain-derived neurotrophic factor in human Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Transl Neurodegener* [Internet]. 2018 Mar 20 [cited 2018 May 9];7. PMC5859548
147. Razgado-Hernandez LF, Espadas-Alvarez AJ, Reyna-Velazquez P, Sierra-Sanchez A, Anaya-Martinez V, Jimenez-Estrada I, et al. The Transfection of BDNF to Dopamine Neurons Potentiates the Effect of Dopamine D3 Receptor Agonist Recovering the Striatal Innervation, Dendritic Spines and Motor Behavior in an Aged Rat Model of Parkinson's Disease. *PLoS One* [Internet]. 2015 Feb 18 [cited 2018 May 9];10(2). PMC4332861
148. Morris ME. Locomotor Training in People With Parkinson Disease. *Phys Ther*. 2006 Oct 1;86(10):1426–35.
149. Fritz NE, Cheek FM, Nichols-Larsen DS. Motor-Cognitive Dual-Task Training in Persons with Neurologic Disorders: A Systematic Review. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2015;39(3):142–53.

ANEXOS

Anexo I: Aprobación comité ético Universitat de València

VNIVERSITAT
D VALÈNCIA

Vicerectorat d'Investigació i Política Científica

D. Fernando A. Verdú Pascual, Profesor Titular de Medicina Legal y Forense, y Secretario del Comité Ético de Investigación en Humanos de la Comisión de Ética en Investigación Experimental de la Universitat de València,

CERTIFICA:

Que el Comité Ético de Investigación en Humanos, en la reunión celebrada el día 14 de mayo de 2014, una vez estudiado el proyecto de tesis doctoral titulado:

"Efecto de un programa de rehabilitación cognitivo-motor en la biomecánica de la marcha en pacientes con enfermedad de Parkinson", número de procedimiento H1397723257189,

cuya doctoranda es Dña. Constanza San Martín Valenzuela, dirigida por Dña. M^a Pilar Serra Año y D. José Manuel Tomás Miguel,,

ha acordado informar favorablemente el mismo dado que se respetan los principios fundamentales establecidos en la Declaración de Helsinki, en el Convenio del Consejo de Europa relativo a los derechos humanos y cumple los requisitos establecidos en la legislación española en el ámbito de la investigación biomédica, la protección de datos de carácter personal y la bioética.

Y para que conste, se firma el presente certificado en Valencia, a quince de mayo de dos mil catorce.

FERNANDO ALEJO|

VERDÚ|PASCUAL

2014.05.15

11:17:43 +02'00'

Anexo II: Aprobación comité ético de Investigación Biomédica del Hospital Universitario y Politécnico La Fe



DICTAMEN DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA

Don Serafín Rodríguez Capellán, Secretario del Comité Ético de Investigación Biomédica del Hospital Universitario y Politécnico La Fe,

CERTIFICA

Que este Comité ha evaluado en su sesión de fecha **9 de septiembre de 2014**, el Proyecto de Investigación titulado **“EFECTO DE UN PROGRAMA DE REHABILITACIÓN COGNITIVO MOTOR EN PARÁMETROS BIOMECÁNICOS DE LA MARCHA EN PACIENTES CON ENFERMEDAD DE PARKINSON.”**, con nº de registro **2014/0499** cuyo Investigador Principal es el/la **Dr./Dra. PILAR SERRA AÑO** del servicio de **UNIVERSIDAD DE VALENCIA**.

Que este Comité acuerda solicitar las siguientes **ACLARACIONES**:

Hoja de Información al Paciente:

- Debe versionar y fechar la hoja (p.ej. versión 1, fecha 09/09/2014)
- Debe suprimir las explicaciones sobre como confeccionar la Hoja de Información al Paciente y que no son para la lectura del paciente.
- Debe indicar que puede no haber beneficios.
- Respecto a la confidencialidad de la información del paciente, deben decir que el responsable del Registro de los datos en la Agencia Española de Protección de Datos, es la Conselleria de Sanitat.

Miembros del CEIB:

Presidente:

Dr. JUAN SALOM SANVALERO (Unidad de Circulación Cerebral Experimental)

Vicepresidente:

Dr. JOSE VICENTE CERVERA ZAMORA (Hematología)

Secretario:

D. SERAFIN RODRIGUEZ CAPELLAN (Asesor jurídico)

Miembros:

Dr. SALVADOR ALIÑO PELLICER (Catedrático Farmacólogo Clínico)
Dra. BELEN BELTRAN NICLOS (Medicina Digestiva)
Dra. INMACULADA CALVO PENADES (Reumatología Pediátrica)
Dr. JOSE VICENTE CASTELL RIPOLL (Director de Investigación)
Dra. REMEDIOS CLEMENTE GARCIA ((Medicina Intensiva) (Miembro CBA))
Dra. MARIA JOSE GOMEZ-LECHON MOLINER (Investigadora del Grupo Acreditado en Hepatología Experimental)
Dr. RAMIRO JOVER ATIENZA (Doctor en biología-Universidad de Valencia- Unidad de Bioquímica y Biología Molecular)
Dr. JAVIER PEMAN GARCIA (Investigador del Grupo Acreditado multidisciplinar para el estudio de la Infección Grave)
Dr. ALFREDO PERALES MARIN (Jefe de Servicio - Obstetricia)
Dr. JOSE LUIS PONCE MARCO (Unidad de Cirugía Endocrino Metabólica)

Dr. JOSE LUIS VICENTE SANCHEZ (Jefe de sección-Unidad de Reanimación)
Dra. PILAR SAENZ GONZALEZ (Neonatología)
Dr. MELCHOR HOYOS GARCIA (Gerente del Departamento de salud nº 7-La Fe)
Dra. BEGOÑA POLO MIQUEL (Gastroenterología Pediátrica)
Dr. ISIDRO VITORIA MIÑANA (Pediatria)
Dra. EUGENIA PAREJA IBARS (Unidad de Cirugía y Trasplante Hepático)
Dr. JAIME SANZ CABALLER (Investigador del Grupo Acreditado en Hematología y Hemoterapia)
Dra. MARIA LUISA MARTINEZ TRIGUERO (Análisis Clínicos)
Dra. MARIA TORDERA BAVIERA (Farmacéutica del Hospital)
Dr. JESUS DELGADO OCHANDO (Diplomado en Enfermería (Miembro Comisión de Investigación))
Dr. JOSE MULLOR SANJOSE (Investigador del Grupo de Investigación Traslacional en Enfermedades Neurosensoriales)
Dr. JOSE ANTONIO AZNAR LUCEA (Jefe de Unidad - Hemostasia y Trombosis)
Dr. ENRIQUE VIOSCA HERRERO (Jefe de Servicio - Medicina Física y Rehabilitación)
Dr. RAFAEL BOTELLA ESTRADA (Dermatología)

Lo que firmo en Valencia, a 9 de septiembre de 2014

Fdo.: Don Serafín Rodríguez Capellán
Secretario del Comité Ético de Investigación Biomédica

Anexo III: Hoja de información al paciente

HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE

Versión de la HIP: 1	Fecha de la versión: 29/09/2014
Investigador Principal: Pilar Serra Añó.	Correo electrónico:m.pilar.serra@uv.es
CENTRO: Facultad de Fisioterapia de la Univerisidad de Valencia.	
Título del proyecto de investigación: <i>"Efecto de un programa de rehabilitación cognitivo-motor en parámetros biomecánicos de la marcha en pacientes con enfermedad de Parkinson."</i>	

1. INTRODUCCIÓN:

Nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio en el que se le invita a participar. El estudio ha sido aprobado por el Comité Ético de Investigación Biomédica del Hospital Universitario y Politécnico la Fe.

Nuestra intención es tan sólo que usted reciba la información correcta y suficiente para que pueda evaluar y juzgar si quiere o no participar en este estudio. Para ello lea esta hoja informativa con atención y nosotros le aclararemos las dudas que le puedan surgir después de la explicación. Además, puede consultar con las personas que considere oportunas.

2. PARTICIPACIÓN VOLUNTARIA:

Debe saber que su participación en este estudio es voluntaria y que puede decidir no participar y retirar el consentimiento en cualquier momento, sin que por ello se altere la relación con su médico ni se produzca perjuicio alguno en su tratamiento.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO:

3.1 Título de la investigación: Efecto de un programa de rehabilitación cognitivo-motor de la marcha en pacientes con enfermedad de Parkinson.

3.2 Investigador: Constanza San Martín. Doctoranda del programa de doctorado 3148 - Promoción de la autonomía y atención sociosanitaria a la dependencia. Universitat de València. Teléfono 633105601. Correo electrónico: constanza_sanmartin@hotmail.com

3.3 Contexto: Esta investigación se desarrolla como proyecto de tesis doctoral del programa de doctorado 3148 – Promoción de la autonomía y atención sociosanitaria a la dependencia de la Universidad de Valencia en colaboración con la Asociación Parkinson Valencia.

3.4 Objetivo: Proponer y realizar un programa de rehabilitación física que integre aspectos motores y cognitivos en la rehabilitación de marcha.

3.5 Objeto y antecedentes:

Una de las alteraciones que conlleva la enfermedad de Parkinson es el deterioro del equilibrio y de la marcha. Caminar es una actividad básica primordial en la autonomía de una persona y cuando ésta se ve alterada, el paciente comienza a ser dependiente para la realización de tareas tan básicas como levantarse de una cama o trasladarse dentro de su mismo hogar. Además, las alteraciones de la marcha aumentan el riesgo de sufrir caídas, factor que puede truncar aún más la independencia de cada persona, ya que ese hecho traumático supone consecuencias, que en la edad avanzada, pueden ser de gravedad. Sin embargo, gran parte de los estudios que se han realizado hasta ahora, valoran las alteraciones de la marcha del paciente dentro de unas condiciones controladas. Este tipo de valoración no permite que el paciente realice un patrón de marcha natural, ya que está pendiente de la propia valoración, regulando conscientemente la forma de caminar, lo que enmascara el desempeño real de la persona cuando en camina en su vida diaria. Además, en condiciones normales, las personas están sometidas a múltiples estímulos de diferente tipo y complejidad mientras caminan, lo que provoca que no presten atención a la marcha, ya que la atención se centra en otras tareas cognitivas, como hacia dónde hay que ir, qué hora es, la conversación con otra persona, etc. Los seres humanos nos desenvolvemos en ambientes complejos en donde nuestra atención está puesta en cualquier actividad cognitiva y no en la actividad motora propiamente dicha. Es por eso, que ***este proyecto estudia las alteraciones en la marcha de pacientes con enfermedad de Parkinson realizando diferentes tareas cognitivas y motoras secundarias, para proponer y realizar un programa de rehabilitación física que integre aspectos motores y cognitivos en la rehabilitación de marcha.***

3.6 Procedimientos: Si usted desea participar de esta investigación, le rogamos se ponga en contando con: Constanza San Martín. Teléfono y Correo electrónico.

Una vez iniciado el contacto con la investigadora a cargo se realizará:

- Una valoración inicial que constará de registrar la historia médica, una exploración física, responder cuestionarios sobre funcionalidad y calidad de vida y realizar una valoración biomecánica de la marcha para comprobar el estado en que se encuentra previo a realizar programa de rehabilitación física propuesto. Esta valoración dura alrededor de 1 hora y 30 minutos y se realiza en la Facultad de Medicina de Universidad de Valencia.
- El programa de rehabilitación física, que dura 10 semanas (dos sesiones por semana).
- Posteriormente, se medirán los resultados obtenidos con una valoración biomecánica inmediatamente acabado el programa de rehabilitación y las 8 semanas.

3.7 Condiciones:

- En cada valoración usted deberá asistir con ropa adecuada: un pantalón corto que solamente cubra la parte superior del muslo, una camiseta y el calzado más cómodo y habitual que utiliza para caminar. En caso de no contar con esta ropa, el investigador le facilitará la ropa adecuada. Para realizar la valoración de marcha ubicaremos sobre su piel marcadores que nos indican los segmentos de su cuerpo, con los que se analizará el movimiento.

- Las sesiones de rehabilitación se realizarán en la **Asociación Parkinson Valencia**, ubicada en calle Chiva Nº 10. La realización del tratamiento está cubierto por la Asociación Parkinson Valencia, si usted no es parte de la Asociación, se comunicarán con usted de dicho centro dándole más información al respecto.

3.8 Preguntas: El personal investigador podrá discutir cualquier información con usted cuando lo necesite y responder a todas sus preguntas. Para eso, puede llamar al número de *teléfono* que le hemos dado anteriormente o comunicarse vía *correo electrónico* si lo prefiere.

3.9 Derecho a rehusar o abandonar

Su participación en el estudio es voluntaria y es libre de abandonar la investigación en cualquier momento.

4. BENEFICIOS Y RIESGOS DERIVADOS DE SU PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO:

4.1 Beneficios: Todos los pacientes que participen de este estudio recibirán 20 sesiones de rehabilitación física, más un informe con las valoraciones de marcha que se realizarán a lo largo del estudio. El beneficio directo que obtendrá con este programa será el entrenamiento de la marcha integrando aspectos motores como aspectos cognitivos, lo que aumentará la capacidad para caminar en ambientes complejos (salir por la calle, hacer otras tareas mientras camina) y para realizar tareas de la vida diaria.

4.2 Riesgos: Después de las sesiones de tratamiento es probable que sienta cansancio derivado de la propia actividad física.

5. TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS:

Actualmente los pacientes con enfermedad de Parkinson realizan fisioterapia para mejorar distintos aspectos afectados del estado físico, entre ellos, la marcha, logrando significativas mejorías. Sin embargo, no se ha estudiado como podría aumentar esta mejoría con la combinación de la rehabilitación física junto a tareas cognitivas, que es el contexto en que se desempeñan las personas día a día. Por otra parte, se ha estudiado que la actividad física o realizar un deporte previamente recomendado, mejora en general la condición física de los pacientes con enfermedad de Parkinson, y por lo tanto el desempeño al caminar.

6. Nº DE URGENCIA PARA PROBLEMAS DEL ESTUDIO:

En caso de que desee formular preguntas acerca del estudio o daños relacionados con el mismo, contactar con la fisioterapeuta Constanza San Martín en el número de teléfono 633105601.

- 7. CONFIDENCIALIDAD:** Los resultados obtenidos de todas las pruebas sólo podrán utilizarse en el ámbito científico y académico. Con la excepción de esta revelación, toda la información se considerará confidencial.

El responsable de los datos en la Agencia Española de Protección de Datos, es la Consellería Española.

El tratamiento, la comunicación y la cesión de los datos de carácter personal de todos los sujetos participantes, se ajustará a lo dispuesto en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre de protección de datos de carácter personal. De acuerdo a lo que establece la legislación mencionada, usted puede ejercer los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación de datos, para lo cual deberá dirigirse a su médico del estudio. Los datos recogidos para el estudio estarán identificados mediante un código y sólo su médico del estudio o colaboradores podrán relacionar dichos datos con usted y con su historia clínica. Por lo tanto, su identidad no será revelada a persona alguna salvo excepciones, en caso de urgencia médica o requerimiento legal.

Sólo se tramitarán a terceros y a otros países los datos recogidos para el estudio, que en ningún caso contendrán información que le pueda identificar directamente, como nombre y apellidos, iniciales, dirección, nº de la seguridad social, etc... En el caso de que se produzca esta cesión, será para los mismos fines del estudio descrito y garantizando la confidencialidad como mínimo con el nivel de protección de la legislación vigente en nuestro país.

El acceso a su información personal quedará restringido al médico del estudio, colaboradores, autoridades sanitarias (Agencia Española del Medicamento y Productos Sanitarios), al Comité Ético de Investigación Clínica y personal autorizado por el promotor, cuando lo precisen para comprobar los datos y procedimientos del estudio, pero siempre manteniendo la confidencialidad de los mismos de acuerdo a la legislación vigente. El acceso a su historia clínica ha de ser sólo en lo relativo al estudio.

8. COMPENSACIÓN ECONÓMICA:

El promotor del estudio es el responsable de gestionar la financiación del mismo, por lo que su participación en éste no le supondrá ningún gasto.

9. OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE:

Si usted decide retirar el consentimiento para participar en este estudio, no se añadirá ningún dato nuevo a la base de datos y, puede exigir la destrucción de todas las valoraciones previamente obtenidas.

También debe saber que puede ser excluido del estudio si el promotor o los investigadores del mismo lo consideran oportuno, ya sea por motivos de seguridad, por cualquier acontecimiento adverso que se produzca en el estudio o porque consideren que usted no está cumpliendo con los procedimientos establecidos. En cualquiera de los casos, usted recibirá una explicación adecuada del motivo por el que se ha decidido su retirada del estudio.

El promotor podrá suspender el estudio siempre y cuando sea por alguno de los supuestos contemplados en la legislación vigente.

Al firmar la hoja de consentimiento, se compromete a cumplir con los procedimientos del estudio que se le han expuesto.

Anexo IV: Consentimiento informado

Consentimiento para participar en estudio de investigación.

Título de la investigación: Efecto de un programa de rehabilitación cognitivo-motor de la marcha en pacientes con enfermedad de Parkinson.

Investigador: Constanza San Martín. Doctoranda del programa de doctorado 3148 - Promoción de la autonomía y atención sociosanitaria a la dependencia. Universitat de València. Teléfono 633105601. Correo electrónico: constanza_sanmartin@hotmail.com

Objeto y antecedentes: Este proyecto estudia las alteraciones en la marcha de pacientes con enfermedad de Parkinson realizando diferentes tareas cognitivas y motoras secundarias para proponer un programa de rehabilitación física que integre aspectos motores y cognitivos en la rehabilitación de marcha.

Procedimientos: Si usted participa del presente estudio deberá realizar lo siguiente:

1. Responderá a preguntas sobre su historia médica y se tomarán medidas de su cuerpo, como longitud de las piernas (en Asociación Parkinson Valencia).
2. Tendrá que responder a una serie de cuestionarios (15 minutos).
3. Realizará una valoración biomecánica de la marcha para comprobar el estado en que se encuentra previo a realizar programa de rehabilitación física propuesto (1 hora y 30 min, en Facultad de Medicina de Universidad de Valencia).
4. Realizará un programa de rehabilitación física distinto al que realizará normalmente en la Asociación de Parkinson Valencia. Este programa alternativo de rehabilitación dura 10 semanas (dos sesiones por semana). Su realización dependerá del grupo al que sea asignado (en Asociación Parkinson Valencia).
5. Realizará una segunda valoración biomecánica de la marcha para determinar cómo se encuentra al terminar el programa que proponemos (1 hora y 30 min, en Facultad de Medicina de Universidad de Valencia).
6. Por último realizará una tercera valoración, 8 semanas después de haber acabado el programa de rehabilitación, con el fin de observar los efectos que éste tiene a largo plazo (1 hora y 30 min, en Facultad de Medicina de Universidad de Valencia).

Condiciones: En cada valoración usted deberá asistir con ropa adecuada: un pantalón corto que solamente cubra la parte superior del muslo, una camiseta y el calzado más cómodo y habitual que utiliza para caminar. En caso de no contar con esta ropa, el investigador le facilitará la ropa adecuada. Para realizar la valoración de marcha ubicaremos sobre su piel marcadores que nos indican los segmentos de su cuerpo, con los que se analizará el movimiento. Con respecto al programa de rehabilitación, si usted es uno de los pacientes que está en el grupo que recibirá la terapia física que proponemos en este estudio, no realizará la rehabilitación física que lleva realiza habitualmente en la Asociación Parkinson Valencia. De todos modos, este programa nuevo de rehabilitación también se realizará en las dependencias de la Asociación.

Beneficios: Todos los pacientes que participen de este estudio recibirán un informe con las valoraciones de marcha que se realizarán a lo largo del estudio. El beneficio directo que obtendrá con este programa será el entrenamiento de la marcha integrando tanto aspectos motores como aspectos cognitivos, lo que aumentará la capacidad para caminar en ambientes complejos (salir por la calle, hacer otras tareas mientras camina) y para realizar tareas de la vida diaria. Las sesiones de rehabilitación no supondrán coste alguno. En caso de no estar en el grupo de pacientes que realizar la rehabilitación física propuesta por el presente proyecto, la Asociación Parkinson Valencia dispondrá de este programa una vez acabado el estudio, para que en las terapias que desarrollan habitualmente en el centro, sean incluidos los aspectos que estimen convenientes de la rehabilitación que proponemos.

Riesgos: Después de las sesiones de tratamiento es probable que sienta cansancio derivado de la propia actividad física.

Confidencialidad: los resultados obtenidos de todas las pruebas sólo podrán utilizarse en el ámbito científico y académico. Con la excepción de esta revelación, toda la información se considerará confidencial.

Preguntas: el personal investigador podrá discutir esta información usted y se responder a todas sus preguntas.

Derecho a rehusar o abandonar: su participación en el estudio es voluntaria y es libre de abandonar en cualquier momento.

Consentimiento:

Yo,..... D.N.I.:..... A
fecha, he recibido información del presente proyecto de investigación en el
que voy a prestar mi colaboración, realizando las siguientes actividades:

- ☒ Valoración 1: previa a realizar programa de rehabilitación
- ☐ Asistencia a programa de rehabilitación propuesto / convencional
- ☒ Valoración 2: posterior a realización de programa de rehabilitación
- ☒ Valoración 3: luego de unos meses realizado programa de rehabilitación

Declaro que he sido suficientemente informado/a de las tareas a realizar, condiciones de las mismas, objetivos del proyecto y uso que se le va a dar a la información obtenida (pudiendo realizar cualquier pregunta sobre el mismo a la persona encargada de mi valoración) y acepto las condiciones de esta investigación. Para cualquier duda o problema al momento de asistir a una de las actividades en las que se le ha pedido su colaboración, deberá contactar a Constanza San Martín.

Firma participante

Firma informante

Anexo V: Formulario de registro de antecedentes personas y médicos

Datos Personales

Nombre:				
Teléfono 1:			Teléfono 2:	
Sexo: <input type="checkbox"/> mujer <input type="checkbox"/> hombre			Fecha de nacimiento:	
Edad:	Talla:	Peso:	Long MMII Dº:	Long MMII Iº:
Dominancia: <input type="checkbox"/> diestro <input type="checkbox"/> zurdo <input type="checkbox"/> ambidiestro			Estado civil: <input type="checkbox"/> casado <input type="checkbox"/> soltero <input type="checkbox"/> PDH	
Vive con: <input type="checkbox"/> pareja <input type="checkbox"/> hijos <input type="checkbox"/> pareja e hijo <input type="checkbox"/> solo <input type="checkbox"/> otros (especificar)			<input type="checkbox"/> separado <input type="checkbox"/> divorciado <input type="checkbox"/> viudo	
Nivel académico: <input type="checkbox"/> sin estudios <input type="checkbox"/> primaria <input type="checkbox"/> secundaria <input type="checkbox"/> bachicherato <input type="checkbox"/> formación profesional <input type="checkbox"/> universitario			Ocupación actual: <input type="checkbox"/> profesional <input type="checkbox"/> jubilado por edad <input type="checkbox"/> trabajo de oficio <input type="checkbox"/> jubilado enfermedad <input type="checkbox"/> ama/o de casa	
Especificar formación:			En caso de estar jubilado, especificar año de jubilación:	
Especificar tipo de trabajo actual o realizado en años laborales (y nº de años):				
Hábitos: <input type="checkbox"/> fumador (especificar cantidad) <input type="checkbox"/> ex fumador (especificar nº de años y cantidad) <input type="checkbox"/> alcohol (especificar nº de años) <input type="checkbox"/> actividad física (especificar actividad y cantidad) <input type="checkbox"/> actividad intelectual (especificar actividad y cantidad) <input type="checkbox"/> actividad recreativa (especificar actividad y cantidad)				

Anamnesis

Año de diagnóstico Parkinson:	Evolución en años hasta fecha actual:
Antecedentes familiares: <input type="checkbox"/> sin antecedentes <input type="checkbox"/> madre <input type="checkbox"/> padre <input type="checkbox"/> ambos padres <input type="checkbox"/> hermano(a)/s <input type="checkbox"/> abuelo(a)/s	
Otros diagnósticos (especificar fecha de diagnóstico):	
Medicamentos Parkinsonianos, hora de toma y mg:	Otros medicamentos, hora de toma y mg:
¿A qué hora del día piensa que la medicación parkinsoniana tiene su mayor efecto?	
Fisioterapia: <input type="checkbox"/> no realiza <input type="checkbox"/> 1 vez por semana <input type="checkbox"/> 2 veces por semana <input type="checkbox"/> 3 veces por semana <input type="checkbox"/> más de 3 veces por semana (especificar si es en asociación u otros)	
Otras terapias (cuáles y cantidad):	

Signos Parkinsonianos

Predominio signos: <input type="checkbox"/> hemicuerpo derecho <input type="checkbox"/> hemicuerpo izquierdo <input type="checkbox"/> bilateral en igual medida		
Lado en que se manifiestas los signos por primera vez (especificar signo): <input type="checkbox"/> hemicuerpo derecho <input type="checkbox"/> hemicuerpo izquierdo <input type="checkbox"/> ambos		
Temblor de reposo: <input type="checkbox"/> hemicuerpo derecho <input type="checkbox"/> hemicuerpo izquierdo <input type="checkbox"/> ambos <input type="checkbox"/> miembro superior <input type="checkbox"/> miembro inferior		
Bradicinesia: <input type="checkbox"/> hemicuerpo derecho <input type="checkbox"/> hemicuerpo izquierdo <input type="checkbox"/> ambos <input type="checkbox"/> miembro superior <input type="checkbox"/> miembro inferior		
Rigidez: <input type="checkbox"/> hemicuerpo derecho <input type="checkbox"/> hemicuerpo izquierdo <input type="checkbox"/> ambos <input type="checkbox"/> miembro superior <input type="checkbox"/> miembro inferior		
Alteración postural: <input type="checkbox"/> test de desestabilización positivo <input type="checkbox"/> romberg + ojos abiertos <input type="checkbox"/> romberg + ojos cerrados		
Otros signos referidos por el pacientes:		
Estadio Hoehn y Yahr		

Cumplimentación criterios de inclusión / exclusión

Inclusión:	
Enfermedad de Parkinson en estadio 1, 2 ó 3	
Marcha independiente sin ayuda técnica	
Estado cognitivo normal según test minimental	
Simetría miembros inferiores	
Exclusión:	
Presencia de otra enfermedad degenerativa o alteración neurológica	
Presencia enfermedades musculoesqueléticas con signos agudos	
Cirugías en miembros inferiores	
Asimetría de miembros inferiores	
Trastornos que afecten el equilibrio	
Estadio Hoehn y Yahr 4 ó 5.	

Comentarios

Anexo VI: Comparaciones por pares de medidas de cada factor analizado en los análisis estadísticos del estudio

Tabla VI.1: Efecto de la rehabilitación física en los grupos y variables estudiadas por cada condición de marcha

		Basal			Visual			Verbal			Auditivo			Motor		
		T1/T2	T1/T3	T2/T3	T1/T2	T1/T3	T2/T3	T1/T2	T1/T3	T2/T3	T1/T2	T1/T3	T2/T3	T1/T2	T1/T3	T2/T3
Velocidad	GE															
	GC															
Longitud de zancada	GE															
	GC															
Duración de zancada	GE															
	GC															
Cadencia	GE															
	GC															
Tiempo de doble apoyo	GE															
	GC															
Longitud de paso	GE (A)															
	GE (B)															
	GC (A)															
	GC (B)															
Rango de tobillo	GE (A)															
	GE (B)															
	GC (A)															
	GC (B)															
Dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación	GE (A)															
	GE (B)															
	GC (A)															
	GC (B)															

Tabla VI.1: Efecto de la rehabilitación física en los grupos y variables estudiadas por cada condición de marcha (continuación)

Flexión máxima de rodilla en fase de oscilación	GE (A)															
	GE (B)															
	GC (A)															
	GC (B)															
Extensión máxima de cadera en fase de apoyo	GE (A)															
	GE (B)															
	GC (A)															
	GC (B)															
Flexión máxima de cadera en fase de oscilación	GE (A)															
	GE (B)															
	GC (A)															
	GC (B)															

Se muestran las diferencias significativas entre los tiempos de evaluación para el grupo experimental (gris oscuro) y para el grupo control (gris claro). En la columna T1/T2 se muestran las diferencias entre las medidas prerrehabilitación y postrehabilitación. En la columna T1/T3 se muestran las diferencias entre las medidas prerrehabilitación y seguimiento. En la columna T2/T3 se muestran las diferencias entre las medidas postrehabilitación y seguimiento. Nivel de significación: $p < 0,05$.

Tabla VI.2: Comparaciones entre participantes del grupo experimental y control en cada variable del estudio, por condiciones y tiempos de evaluación

	Prer rehabilitación					Postrehabilitación					Seguimiento				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
Velocidad															
Longitud de zancada															
Duración de zancada															
Cadencia															
Tiempo de doble apoyo															
Longitud de paso (lado A)															
Longitud de paso (lado B)															
Rango de tobillo (lado A)															
Rango de tobillo (lado B)															
Dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación (lado A)															
Dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación (lado B)															
Flexión máxima de rodilla en fase de oscilación (lado A)															
Flexión máxima de rodilla en fase de oscilación (lado B)															
Extensión máxima de cadera en fase de apoyo (lado A)															
Extensión máxima de cadera en fase de apoyo (lado B)															
Flexión máxima de cadera en fase de oscilación (lado A)															
Flexión máxima de cadera en fase de oscilación (lado B)															

Se muestran las diferencias estadísticamente significativas (celdas sombreada en gris) entre los grupos experimental y control en cada variable del estudio y en cada condición (C1: basal; C2: visual; C3: verbal; C4: auditiva; C5: motora) y tiempo de evaluación. Nivel de significación: $p < 0,05$.

Tabla VI.3: Comparaciones entre participantes con enfermedad de Parkinson y sujetos sanos en las tres mediciones del estudio y en cada condición evaluada

	T1					T2: GE y GS					T2: GC y GS					T3: GE y GS					T3: GC y GS				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Velocidad																									
Longitud de zancada																									
Duración de zancada																									
Cadencia																									
Tiempo de doble apoyo																									
Longitud de paso (lado A)																									
Longitud de paso (lado B)																									
Rango de tobillo (lado A)																									
Rango de tobillo (lado B)																									
Dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación (A)																									
Dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación (B)																									
Flexión máxima de rodilla en fase de oscilación (lado A)																									
Flexión máxima de rodilla en fase de oscilación (lado B)																									
Extensión máxima de cadera en fase de apoyo (lado A)																									
Extensión máxima de cadera en fase de apoyo (lado B)																									
Flexión máxima de cadera en fase de oscilación (lado A)																									
Flexión máxima de cadera en fase de oscilación (lado B)																									

Se muestran las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de personas con enfermedad de Parkinson (GE: grupo experimental; GC: grupo control) y el grupo de personas sanas (celda sombreada en gris) en el tiempo de evaluación prerrehabilitación (T1), postrehabilitación (T2) y seguimiento (T3) y en cada condición evaluada (1: basal; 2: visual; 3: verbal; 4: auditiva; 5: motora). En la medida prerrehabilitación se analizaron las diferencias entre sujetos sanos y el total de los participantes con enfermedad de Parkinson. Nivel de significación: $p < 0,05$.

Tabla VI.4: Diferencias estadísticas entre las condiciones de marcha evaluadas en cada grupo y tiempo de evaluación

		<i>Prer rehabilitación</i>	<i>Postrehabilitación</i>		<i>Seguimiento</i>		<i>Medida única</i>
		Parkinson	Experimental	Control	Experimental	Control	Sanos
Velocidad	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias		C3-C5	C2-C3	C2-C3; C3-C5		
Longitud de zancada	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias						
Duración de zancada	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias			C2-C3	C3-C4		
Cadencia	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias						
Tiempo de doble apoyo	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias	C2-C3; C3-C4					
Longitud de paso (lado A)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias						

Tabla VI.4: Diferencias estadísticas entre las condiciones de marcha evaluadas en cada grupo y tiempo de evaluación (continuación)

Longitud de paso (lado B)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias						
Rango de tobillo (lado A)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias						
Rango de tobillo (lado B)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias	C4-C5					
Dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación (lado A)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias						
Dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación (lado B)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias						
Flexión máxima de rodilla en fase de oscilación (lado A)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias		C2-C3	C2-C3	C3-C5	C4-C5	
Flexión máxima de rodilla en fase de oscilación (lado B)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias		C3-C5	C2-C3	C3-C5; C4-C5	C4-C5	

Tabla VI.4: Diferencias estadísticas entre las condiciones de marcha evaluadas en cada grupo y tiempo de evaluación (continuación)

Extensión máxima de cadera en fase de apoyo (lado A)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias				C2-C3		
Extensión máxima de cadera en fase de apoyo (lado B)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias						
Flexión máxima de cadera en fase de oscilación (lado A)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias				C2-C3; C3-C4; C3-C5	C3-C4; C3-C5	
Flexión máxima de cadera en fase de oscilación (lado B)	Visual						
	Verbal						
	Auditiva						
	Motora						
	Otras diferencias				C2-C3; C3-C5		

Se muestran las diferencias entre condiciones de cada grupo de estudios y en cada tiempo de evaluación. Las celdas en gris indican diferencias estadísticamente significativas entre la condición dual señalada y la condición basal. Cuando se hallaron diferencias entre las tareas duales, se especifican por escrito (C2: visual; C3: verbal; C4: auditiva; C5: motora). Para el grupo de personas sanas, solamente se indican las diferencias encontradas en la única medición realizada.

Tabla VI.5: Diferencias estadísticas significativas entre hemicuerpos para cada variable de estudio en cada grupo y tiempo de evaluación

		Prer rehabilitación					Postrehabilitación					Seguimiento				
		C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
Longitud de paso	Diferencias entre lado A y lado B del total de pacientes						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo sano						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo experimental															
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo control															
Rango de tobillo	Diferencias entre lado A y lado B del total de pacientes						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo sano						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo experimental															
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo control															
Dorsiflexión máxima de tobillo en fase de oscilación	Diferencias entre lado A y lado B del total de pacientes						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo sano						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo experimental															
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo control															
Flexión máxima de rodilla en fase de oscilación	Diferencias entre lado A y lado B del total de pacientes						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo sano						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo experimental															
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo control															
Extensión máxima de cadera en fase de apoyo	Diferencias entre lado A y lado B del total de pacientes						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo sano						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo experimental															
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo control															
Flexión máxima de cadera en fase de oscilación	Diferencias entre lado A y lado B del total de pacientes						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo sano						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo experimental															
	Diferencias entre lado A y lado B de grupo control															

Se muestran las diferencias entre hemicuerpos (lado A y lado B) para las variables en las que se evaluó dicho factor. Durante la medida prer rehabilitación, se señalan las diferencias estadísticamente significativas (celdas en gris) entre lados para los grupos de sujetos sanos y para el grupo de pacientes con enfermedad de Parkinson en su totalidad. En las medidas postrehabilitación y seguimiento, se señalan las diferencias estadísticamente significativas (celdas en gris) entre lados para el grupo de pacientes que realizó la intervención experimental y para el grupo de pacientes que realizó la intervención control. Los guiones dentro de las celdas indican que la diferencia entre hemicuerpos no procede para el grupo que señalan.

